

КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК ПАЯЛЬЩИКА

Под общей редакцией
канд. техн. наук И.Е. Петрунина



МОСКВА
• МАШИНОСТРОЕНИЕ •
1991

Условные обозначения	6
Предисловие (И. Е. Петрунин)	7
Глава 1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ПАЙКЕ (И. Е. Петрунин)	9
Общие положения	9
Кинетика образования спаев	10
Флюсование, смачивание, капиллярное течение	16
Кристаллизация, формирование паяного соединения	29
Список литературы	34
Глава 2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА И ПРИПОЯ (И. Е. Петрунин)	35
Список литературы	45
Глава 3. ПРИПОИ (А. И. Губин)	46
Медные припой	46
Серебряные и палладиевые припой	53
Золотые и платиновые припой	56
Никелевые припой	58
Железные и марганцевые припой	58
Алюминиевые и магниевые припой	59
Оловянно-свинцовые припой	61
Индиевые, цинковые, кадмиевые, висмутовые и галлиевые припой	65
Титановые припой	68
Композиционные припой	68
Список литературы	70
Глава 4. ФЛЮСЫ И ГАЗОВЫЕ СРЕДЫ (Р. Е. Есинберлин)	71
Флюсы для высокотемпературной пайки	71
Флюсы для низкотемпературной пайки	71
Паяльные пасты	79
Газовые среды	81
Список литературы	84
Глава 5. ОБОРУДОВАНИЕ (Л. Л. Гржимальский)	85
Оборудование для печной пайки	85
Высокочастотные генераторы	95
Оборудование для пайки погружением	99
Оборудование для пайки электросопротивлением	101
Оборудование для пайки концентрированными источниками энергии	103
Оборудование для газопламенной пайки	106
Паяльники	110
Специальные источники нагрева	112
Список литературы	112

Глава 6. ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ К ПАЙКЕ (И. Ю. Маркова)	114
Подготовка к пайке поверхности металлических материалов . . .	114
Подготовка к пайке поверхности неметаллических материалов . . .	121
Список литературы	123
Глава 7. ТЕХНОЛОГИЯ ПАЙКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИА- ЛОВ (Ю. Ф. ШЕИН)	124
Пайка низкоуглеродистых и низколегированных сталей	124
Пайка коррозионно-стойких сталей	125
Пайка жаропрочных сталей и сплавов	128
Пайка инструментальных сталей	129
Пайка спеченных твердых сплавов	129
Пайка чугуна	131
Пайка цветных металлов и сплавов	132
Пайка алюминия и его сплавов	137
Пайка магниевых сплавов	140
Список литературы	142
Глава 8. ПАЙКА МЕТАЛЛОВ С НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ МАТЕ- РИАЛАМИ (А. И. Губин)	143
Пайка полупроводников	143
Пайка металлов с керамикой	146
Пайка металлов с керамикой стеклоприпоями	148
Активная пайка	149
Пайка металлов со стеклом, кварцем	150
Пайка металлов с ферритами, ситаллами, сапфиром	151
Пайка металлов с графитом	152
Список литературы	156
Глава 9. КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОЧНОСТЬ ПАЯНЫХ ИЗ- ДЕЛИЙ (И. Е. Петрунин)	157
Общие положения	157
Конструирование паяных изделий	159
Прочность паяных изделий	164
Список литературы	172
Глава 10. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОН- ТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПАЯНЫХ ИЗДЕЛИЙ (И. Е. Пе- трунин, И. Ю. Маркова)	173
Методы исследования структуры и свойств паяных соединений . . .	173
Контроль качества паяных соединений	180
Список литературы	187
Глава 11. ОХРАНА ТРУДА И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТА- РИЯ (И. Е. Петрунин, И. Ю. Маркова)	188
Опасные и вредные производственные факторы	188
Требования к технологическим процессам	190
Требования к пожаро- и взрывобезопасности и к вентиляции на рабочих местах	190
Средства индивидуальной защиты работающих	190
Контроль выполнения требований безопасности	192
Список литературы	193
Глава 12. НОРМИРОВАНИЕ ПАЯЛЬНЫХ РАБОТ (И. Е. Петру- нин, И. Ю. Маркова)	194
Список литературы	203

<i>ПРИЛОЖЕНИЕ (И. Е. Петрунин, И. Ю. Маркова)</i>	204
Мультипликаторы и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименование	204
Обозначение марок сталей	204
Перечень стандартов по пайке	204
Физические свойства элементов	206
Перевод единиц измерения в единицы Международной системы (СИ)	207
Предметный указатель	209

ББК 34.643я2

К78

УДК 621.791.033-057.2 (035)

Авторы: И. Е. Петрунин, И. Ю. Маркова, Л. Л. Гржимальский,
А. И. Губин, Р. Е. Есинберлин, Ю. Ф. Шеин

Рецензент д-р техн. науки проф. В. В. Баженов

Краткий справочник паяльщика/И. Е. Петрунин,
К78 И. Ю. Маркова, Л. Л. Гржимальский и др.; Под общ. ред.
И. Е. Петрунина. — М.: Машиностроение, 1991. — 224 с.: ил.
ISBN 5-217-01321-4

Приведены физико-механические свойства паяемых материалов, припой, флюсы и газовые среды. Описаны оборудование, процессы подготовки поверхностей к пайке и обработки их после пайки. Изложена технология пайки металлических материалов, металлов с неметаллическими материалами; рассмотрены дефекты и контроль качества паяных изделий. Освещены вопросы охраны труда и производственной санитарии, нормирования паяльных работ.

Для рабочих-паяльщиков; может быть полезен учащимся ПТУ.

К 2704060000—243
038 (01)—91 243—91

ББК 34.643я2

ISBN 5-217-01321-4

© И. Е. Петрунин, И. Ю. Маркова,
Л. Л. Гржимальский и др., 1991

a, b, c — периоды решетки, нм

T, t — температура соответственно К, °С

$\sigma_{\text{в}}$ — временное сопротивление разрыву (предел прочности при растяжении), МПа

$\sigma_{0,2}$ — предел текучести условный, МПа

δ — относительное удлинение после разрыва, %

ψ — относительное сужение, %

$a_{\text{н}}$ — ударная вязкость, Дж/м²

$\sigma_{\text{сж}}$ — предел прочности при сжатии, МПа

НВ — твердость по Бринеллю

HRA, HRB, HRC — твердость по Роквеллу (шкалы соответственно А, В, С)

HV — твердость по Виккерсу

H_{μ} — микротвердость

E — модуль упругости, ГПа, энергия активации образования соединения, эВ; потенциал, В

G — модуль упругости при сдвиге кручением МПа; свободная энергия, Дж

$\tau_{\text{ср}}$ — предел прочности при срезе, МПа

γ — плотность, г/см³

ρ — удельное электрическое сопротивление, Ом·м

α — коэффициент температурный, °С⁻¹

λ — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К)

S — энтропия, Дж/град

Пайка — физико-химический процесс получения соединения в результате взаимодействия твердого паяемого (основного) и жидкого припаячного металла (припоя). Образующиеся в результате этого взаимодействия переходные слои на границах шва и соединяемых поверхностях деталей называются спаями.

Для получения спая необходимо удалить с соединяемых поверхностей оксидную пленку и создать условия взаимодействия твердого и жидкого металлов. При кристаллизации вступившего во взаимодействие с материалом паяемых деталей более легкоплавкого связующего металла образуется паяное соединение.

Пайка имеет сходство со сваркой плавлением, но между ними есть принципиальные различия. Если при сварке основной и припаячный материалы находятся в сварочной ванне в расплавленном состоянии, то при пайке паяемый металл не плавится. Формирование шва при пайке происходит путем заполнения припоем зазора между соединяемыми деталями, т. е. процесс пайки связан с капиллярным течением, что не имеет места при сварке плавлением. Пайка, в отличие от сварки плавлением, осуществляется при температурах, лежащих ниже температуры плавления паяемого металла, и может происходить в широком интервале температур. Одним из преимуществ пайки является возможность соединения за один прием в единое целое множества элементов, составляющих изделие. Поэтому пайка как ни один другой способ соединения отвечает условиям массового производства. Она позволяет соединять разнородные металлы, а также металлы со стеклом, керамикой, графитом и другими неметаллическими материалами.

При пайке не происходит расплавления кромок паяемых деталей, поэтому проще сохранить в процессе нагрева требуемые форму и размеры изделия. Низкотемпературная пайка позволяет сохранить неизменными структуру и свойства металла соединяемых деталей. Важное преимущество пайки — разъемность паяных соединений — делает ее незаменимой при монтажных и ремонтных работах.

В соответствии со спецификой и особенностями технологического процесса пайку классифицируют:

по характеру взаимодействия твердого и жидкого металлов при возникновении спая;

по особенностям технологии образования паяного соединения;

по способам нагрева.

По характеру взаимодействия основного металла с расплавом припоя и природе связей на границе основной металл — припой выделяют четыре вида спаев: бездиффузионный, растворно-диффузионный, контактно-реакционный и диспергированный.

По особенностям технологии образования паяного соединения (режим пайки, способ введения припоя, формирование шва) выделяют пайку капиллярную, диффузионную, контактно-реактивную, реактивно-флюсовую и некапиллярную.

Краткий справочник по пайке содержит основные сведения по способам пайки, применяемым припоям, флюсам, газовым средам, оборудованию, технологии пайки металлов и металлов с неметаллическими материалами, а также отражает вопросы прочности, испытаний и контроля паяных соединений и паяных изделий.

При составлении справочника авторы стремились максимально представить фактический материал. В справочнике приведены сведения по физике, химии, необходимые в работе производственника при выборе материалов, назначении режимов пайки, анализе процессов формирования соединений.

Авторы справочника считают своим долгом выразить глубокую благодарность заведующему кафедрой сварки в машино- и приборостроении Московского института приборостроения профессору доктору технических наук Баженову Вадиму Валентиновичу за ценные замечания, сделанные им при рецензировании справочника.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Образующееся при пайке соединение по своему строению и составу неоднородно, включает литую прослойку (шов), спай, диффузионные и прикристаллизованные зоны (рис. 1).

Шов — неоднородная по составу и строению прослойка между соединяемыми деталями, образующаяся в результате взаимодействия расплава припоя с паяемым материалом и последующей кристаллизации расплава в зазоре.

Спай — переходный слой на границе паяемая деталь — шов, образующийся в результате взаимодействия расплава припоя с паяемым материалом.

Диффузионная зона — граничащий со спаем слой паяемого материала с измененным химическим составом и микроструктурой, образовавшийся в результате взаимной диффузии компонентов припоя и паяемого материала.

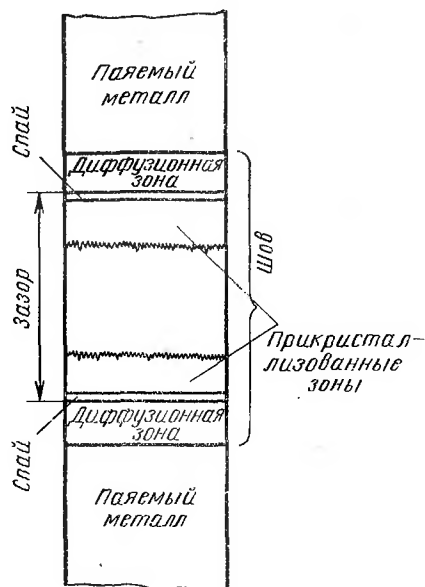
Прикристаллизованная зона — граничащий со спаем слой в шве, образовавшийся в результате выделения из расплава при кристаллизации на подложку фазы*, обогащенной тугоплавкими компонентами.

Взаимодействие между металлами при пайке может завершаться на разных стадиях развития процессов между основным металлом и припоем. В соответствии с этим будут меняться состав, структура спаев и отдельных зон паяного соединения.

Если процесс прекращается на стадии возникновения химических связей, когда взаимной диффузией паяемого металла и расплава припоя можно пренебречь, то образуется бездиффузионный спай. Последующая выдержка создает условия для развития диффузионных и растворно-диффузионных процессов. Спай, образующийся в условиях протекания растворно-диффузионных процессов, называют растворно-диффузионным. Спаи, возникающие в результате контактного плавления (переход в жидкое состояние разнородных материалов при температурах ниже их точек плавления), относят к контактно-реакционным.

При обеспечении соответствующего перегрева можно получить спай между металлами, в обычных условиях не сплавляющихся и не образующих химические соединения. Железо и свинец в жидком

* Фазами называются однородные части сплава, обладающие определенной совокупностью физико-химических и термодинамических свойств и отделенные от других фаз границей раздела.



1. Температуры плавления олова, меди, марганца, серебра и температуры пайки ими вольфрама

Припой	Химический знак	Температура, °C	
		плавления припоя	пайки
Олово	Sn	231,9	930
Медь	Cu	1083	1120
Марганец	Mn	1250	1500
Серебро	Ag	960,8	1300

Примечание. Перегрев определяется как разность между температурой пайки и температурой плавления припоя.

Рис. 1. Строение паяного соединения (схема)

состоянии практически взаимно нерастворимы. Вольфрам не образует сплавов с медью, марганцем, серебром, оловом. Однако при пайке происходит смачивание железа и вольфрама легкоплавкими металлами указанных пар. Образующаяся жидкая фаза затекает в капиллярные зазоры и обеспечивает формирование паяных соединений. Перегрев при пайке вольфрама медью, марганцем, серебром и оловом в среде водорода с точкой росы -50°C и содержанием кислорода не выше 0,0005 % по объему указан в табл. 1. В этих случаях происходит не истинное растворение паяемого металла в припоях, а диспергирование более тугоплавкого металла взаимодействующей пары в результате снижения свободной поверхностной энергии под действием расплава припоя. Полученные спаи названы диспергированными [1, 2].

КИНЕТИКА ОБРАЗОВАНИЯ СПАЕВ

Бездиффузионный спай. В процессе пайки паяемый материал и расплавленный припой вступают в физико-химическое взаимодействие, обусловленное различиями их свойств и энергетического состояния. При снижении температуры пайки и времени выдержки интенсивность взаимодействия уменьшается, возможно образование химических связей при отсутствии диффузии в объеме взаимодействующих металлов.

Продолжительность периода времени, предшествующего интенсивному протеканию диффузионных процессов (время в течение

2. Изменение параметров решеток железа (Fe) и олова (Sn) в зависимости от продолжительности контакта между ними при температуре пайки

Время выдержки, с	Периоды решеток ($\pm 0,0001$), нм					Объем ячейки, нм ³		Содержание Fe в растворе (относительная атомная масса), %
	Fe	Sn				Fe	Sn	
	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>c/a</i>	<i>a</i> _{прив}			
0		0,5820	0,3175	0,545	0,4755		0,1075	0
10		0,5807	0,3173		0,4747		0,1070	0,67
20	0,2864	0,5802	0,3171	0,546	0,4744	0,0235	0,1067	0,92
30		0,5798	0,3169		0,4740		0,1065	1,25

которого образуется бездиффузионный спай), можно оценить по уравнению

$$\tau = \tau_0 e^{-(Q_T + Q_K)/2RT}, \quad (1)$$

где τ_0 — постоянная времени; e — постоянная, учитывающая пик межфазной энергии; Q_T , Q_K — энергия активации диффузии элементов соответственно твердого основного металла и расплава припоя; R — газовая постоянная; T — абсолютная температура.

Возможность бездиффузионного спая между металлами экспериментально подтверждена на примере пайки железа оловом. Период кристаллической решетки железа, контактировавшего с расплавленным оловом при 500 °С в течение 30 с; не изменяется, что указывает на образование между ними бездиффузионного спая (табл. 2).

Исследование изменения периодов кристаллической решетки олова позволило установить уменьшение их при увеличении времени контакта с твердым железом, что связано с переходом в расплав олова атомов железа, имеющих меньший радиус, чем атомы олова.

При температурах пайки железа оловом ниже 500 °С можно устойчиво получать бездиффузионные спаи при более длительном времени (более 30 с) контакта твердой и жидкой фаз.

Растворно-диффузионный спай. При смачивании паяемого материала расплавом припоя создаются необходимые условия развития процессов химического взаимодействия. Одновременно со смачиванием происходит растворение паяемого металла в расплавленном припое, вследствие чего состав зоны сплавления меняется до тех пор, пока не достигнет равновесной концентрации (рис. 2), соответствующей пересечению изотермы температуры пайки с линией ликвидуса (точка С). В процессе растворения одновременно идет диффузия атомов из жидкой в твердую фазу, но поскольку скорость растворения твердого металла в жидком значительно выше, чем диффузия в твердой фазе, диффузионная зона не образуется. С приближением концентрации жидкой фазы к рав-

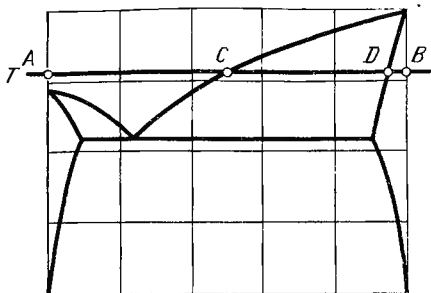


Рис. 2. Диаграмма состояния (схема)

температуры пайки с ликвидусом, а паяемый металл в зоне спаев — с солидусом диаграммы состояния.

Если нагрев при пайке будет прекращен до момента достижения равновесного состояния жидкой фазы, то средний состав зоны сплавления не будет соответствовать точке C .

После достижения равновесного состояния жидкой фазы (ее концентрация соответствует точке C) равновесное состояние твердой фазы в зоне спаев (соответствует точке D) достигается за счет насыщения припоем диффузионной зоны и кристаллизации выделяющегося из расплава твердого раствора. С увеличением времени выдержки при температуре пайки кристаллизация идет до получения во всем объеме зоны сплавления состава, соответствующего насыщенному твердому раствору (точка D). Кинетика этого процесса определяется диффузией. Припой диффундирует в паяемый металл, вследствие чего в расплаве происходит перенасыщение паяемым металлом. При перенасыщении происходит выделение на поверхность паяемого металла твердого раствора состава, соответствующего точке D . Процесс этот будет протекать до тех пор, пока не израсходуется жидкая фаза и не произойдет полная кристаллизация. Равновесное состояние и в этом случае не достигается, продолжается процесс диффузионного выравнивания состава в зоне соединения.

В итоге процесс взаимодействия основного металла с расплавленным припоем при образовании растворно-диффузионного спаев условно можно разделить на три стадии: интервал концентраций $A—C$, когда ведущим процессом является растворение паяемого металла в расплавленном припое; интервал концентраций $C—D$, когда между составами жидкой (C) и твердой (D) фаз имеет место динамическое равновесие и происходит кристаллизация; интервал концентраций $D—B$, когда жидкости не осталось и диффузия протекает в твердой фазе.

На рис. 3 приведена микроструктура соединения при пайке железа никелем, образующих и в жидком и твердом состоянии не-

новесному состоянию скорость растворения паяемого металла в ней замедляется, диффузия из жидкой фазы в твердую повышается, вследствие чего начинает образовываться диффузионная зона. Если время выдержки при температуре пайки достаточно для достижения равновесного состояния жидкой и твердой фаз, то жидкая фаза будет иметь состав, соответствующий пересечению изотермы

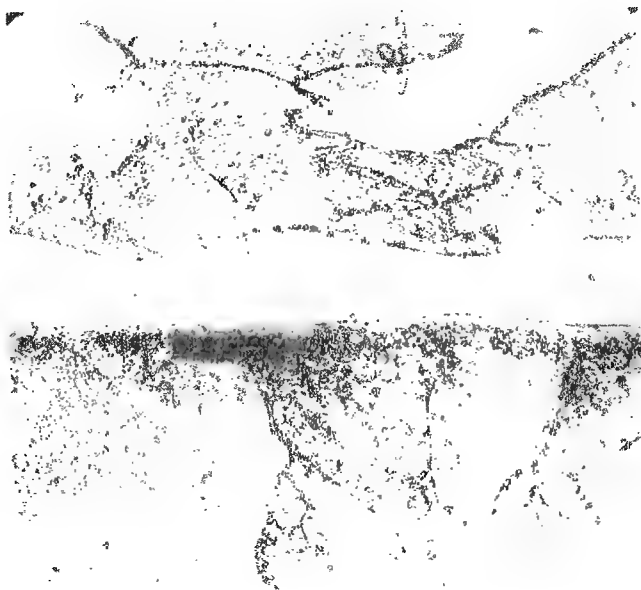


Рис. 3. Микроструктура шва при пайке железа никелем в среде водорода. Температура пайки 1470°C , выдержка 30 с

прерывные растворы. В соответствии с диаграммой состояния твердая фаза при температуре пайки в шве может существовать в виде твердого раствора на основе железа при массовой доле никеля около 15%. Это обстоятельство является причиной отсутствия в микроструктуре шва прикристаллизованных слоев.

Специфика процессов взаимодействия при образовании растворно-диффузионных сплавов может быть весьма различной. Взаимодействующие металлы могут образовывать химические соединения, выделяющиеся в виде отдельных включений в шве или слоя на подложке. Предотвращение образования интерметаллидных слоев может быть достигнуто барьерными покрытиями или легированием припоев компонентами, тормозящими образование химических соединений*.

Если исходное количество припоя в зазоре Q , а коэффициент, определяющий содержание паяемого металла в жидком растворе ϕ , то после насыщения припоя паяемым металлом количество жидкого раствора увеличится и составит $Q/(1 - \phi)$.

* Значительное внимание этой проблеме уделено в работе Н. Ф. Лашко и С. В. Лашко [3].

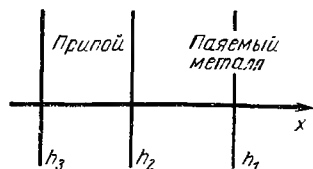


Рис. 4. Схема к расчету растворно-диффузионного спая

h_1 — текущая координата границы диффузионной зоны; h_2 и h_3 — текущие координаты границ основного металла

Количество растворившегося паяемого металла в расплаве припоя

$$Q_p = Q\varphi(1 - \varphi)^{-1}. \quad (2)$$

Чтобы весь перешедший в расплав припоя паяемый металл перевести в твердый раствор, требуется припоя

$$Q_1 = \frac{Q}{1 - \varphi} \varphi(1 - \psi), \quad (3)$$

где ψ — коэффициент, определяющий содержание паяемого металла в твердом растворе.

Количество припоя (избыточное по сравнению с необходимым для образования твердого раствора), которое диффундирует в паяемый металл,

$$Q_0 = Q - Q_1. \quad (4)$$

Продолжительность кристаллизации t во всем объеме зоны взаимодействия, в течение которого избыточное количество припоя Q_0 продиффундирует в паяемый металл (рис. 4), зависит от количества расплава припоя, избыточного по отношению к необходимому для образования твердого раствора.

Третья стадия взаимодействия при образовании растворно-диффузионного спая протекает по законам диффузии в твердой фазе.

Контактно-реакционный спай. Контактное плавление — переход в жидкое состояние разнородных твердых материалов при температурах ниже точек их плавления.

С момента образования жидкой фазы заканчивается первая стадия контактного плавления, связанная с взаимной диффузией компонентов в твердой фазе и образованием твердых растворов. Эта стадия в общем случае описывается уравнением диффузии.

Вторая стадия контактного плавления определяется растворением твердых металлов в образовавшемся расплаве. При этом одновременно протекают два процесса — образование твердого раствора в поверхностных слоях взаимодействующих металлов за счет диффузии из жидкой фазы и растворение образующегося твердого раствора в жидкой фазе [3].

Скорость перемещения границ взаимодействующих металлов I и II при контактном плавлении (рис. 5) зависит от количества

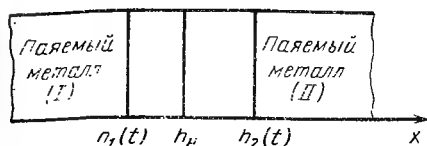
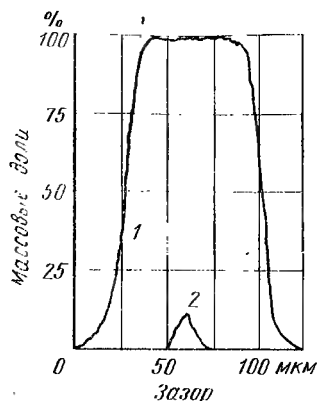


Рис. 5. Схема к расчету контактно-реакционного спае

Рис. 6. Распределение содержания серебра по сечению шва при пайке вольфрама серебром:

1 — выдержка 1 мин; 2 — выдержка 15 мин



продиффундировавшего металла, а также от доли металлов I и II в единице объема жидкой фазы, т. е.

$$v_1 = h_1(t) = f_1[c_{21}, h_n - h_1(t), h_2(t) - h_n], \quad (5)$$

$$v_2 = h_2(t) = f_2[c_{12}, h_n - h_1(t), h_2(t) - h_n], \quad (6)$$

где v_1 и v_2 — скорости перемещения границ твердой и жидкой фаз соответственно металлов I и II; c — концентрация компонентов в диффузионных зонах; h_n , h_1 , h_2 — начальное и текущие положения границ металлов.

Образование паяного соединения путем контактного плавления обычно происходит в условиях, когда второй металл контактирующей пары вводится в виде тонкой прослойки. В этом случае рассмотренные закономерности формирования контактно-реакционного спае имеют место лишь до момента расплавления прослойки второго металла в результате контактного плавления.

Диспергированный спай. При пайке воздействие расплава припоя на паяемые металлы является фактором, определяющим свойства паяного соединения. В зоне шва могут происходить изменения физико-механических свойств основного металла, связанные с эффектом пластификации, адсорбционным понижением прочности, диспергированием, образованием твердых растворов и соединений в результате диффузии, растворения и т. д.

При образовании спае процесс диспергирования паяемого металла под действием расплавленного припоя протекает в условиях, характеризуемых высокой температурой, ограниченным количеством жидкой фазы, активным процессом миграции расплавленного припоя в паяемый металл.

В этих условиях длительность процесса диспергирования наряду с физико-химическими свойствами паяемого металла и припоя лимитируется количеством жидкой фазы в шве; максимальная

длительность определится временем заполнения зазора дисперсными частицами.

Экспериментальные исследования диспергированного спая на примере пайки вольфрама серебром в среде водорода позволили установить, что уже при 15-минутной выдержке зазор 0,1 мм почти полностью перекрывается дисперсными частицами вольфрама (рис. 6).

ФЛЮСОВАНИЕ, СМАЧИВАНИЕ, КАПИЛЛЯРНОЕ ТЕЧЕНИЕ

Флюсование и самофлюсование. Время образования мономолекулярного слоя оксида на поверхности металла оценивается близкой к 10^{-8} с, поэтому на поверхности незащищенного металла всегда имеется слой оксидной пленки [4]. Для удаления оксидных пленок с поверхности паемого металла и припоя в процессе пайки применяют флюсы, активные газовые среды, вакуум. Для этих же целей, а также для улучшения условий смачивания и формирования спаев в состав припоев вводят компоненты, выполняющие роль флюсов (бор, фосфор, кремний, германий, барий и щелочные металлы — литий, калий, натрий).

3. Типы решеток, размер ребра элементарной ячейки a и кратчайшее расстояние d между ионами для хлоридов и фторидов, входящих в состав флюсов, а также некоторых оксидов металлов

Наименование	Формула	Тип решетки	Параметры, 10^{-8} нм	
			a	d
Хлористый литий	LiCl	Кубическая гра- нецентрирован- ная	5,14	2,57
Хлористый натрий	NaCl		5,62	2,81
Хлористый калий	KCl		6,28	3,14
Фтористый литий	LiF		4,02	2,01
Фтористый натрий	NaF		4,62	2,31
Фтористый калий	KF		5,33	2,67
Фтористый кальций	CaF ₂	Флюорит	5,45	2,36
Фтористый барий	BaF ₂		6,19	2,68
Фтористый кадмий	CdF ₂		5,40	2,34
Фтористый цинк	ZnF ₂	Рутил	4,72	2,10
Оксид магния	MgO	Кубическая гра- нецен три рован- ная	4,21	2,10
Оксид кадмия	CdO		4,70	2,35
Закись железа	FeO	Кубическая	—	—
Закись — оксид железа	Fe ₃ O ₄		—	—
Закись никеля	NiO		4,17	2,09
Оксид никеля	Ni ₂ O ₃		4,62	2,00
Оксид натрия	Na ₂ O		5,55	2,40
Оксид калия	K ₂ O		6,44	2,79

4. Краевые углы смачивания силикатом (70 % SiO_2 и 30 % Na_2O) железа (неокисленного и с различной степенью окисления) при температуре 910 °C

Степень окисления металла	Краевой угол θ , ... ° при выдержке, мин				
	2	5	10	15	20
Железо металлическое	105	90	90	90	90
Вюстит FeO	91	70	63	52	52
Магнетит Fe_3O_4	70	35	25	19	19
Гематит Fe_2O_3	62	25	16	15	15

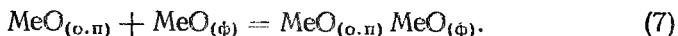
Смачивание основного металла флюсом определяется физико-химическим сродством к основному металлу и оксидной пленке, образующейся на нем. Окисленный металл лучше смачивается флюсом, что улучшает условия взаимодействия в процессе флюсования. В табл. 3 приведены данные по типам и параметрам решеток некоторых солей, входящих в состав флюсов и оксидов металлов, на основе которых можно судить о возможности взаимодействия между ними. Активность взаимодействия между флюсами и оксидной пленкой на основном металле зависит от степени окисления основного металла. Из табл. 4 можно видеть различие смачивания силикатом состава 70 % SiO_2 и 30 % Na_2O неокисленного железа и железа с различной степенью окисления. Наихудшую смачиваемость имеет неокисленное железо. Смачиваемость флюсом окисленного железа возрастает с повышением степени окисления. Из применяющихся в пайке неорганических флюсов можно выде-

5. Растворимость различных оксидов в тетраборнокислом натрии

Наименование	Химическая формула	Температура плавления, °C	Растворимость при			
			760 °C		900 °C	
			Молярная доля, %	Массовая доля, %	Молярная доля, %	Массовая доля, %
Оксид свинца	PbO	890	21,47	23,20	36,75	37,47
Оксид висмута	Bi_2O_3	860	18,22	34,07	20,50	35,75
Закись никеля	NiO	1990	7,50	2,83	9,50	3,74
Двуоксид циркония	ZrO_2	2700	—	5,97	—	—
Оксид меди	CuO	1026	18,45	13,50	20,75	17,03
Трехоксид вольфрама	WO_3	1473	50,48	57,65	83,55	69,36
Оксид железа	Fe_2O_3	1560	1,65	2,58	2,05	3,20
Оксид кадмия	CdO	1400	7,55	9,34	8,25	10,20
Двуоксид титана	TiO_2	1850	18,65	8,49	20,50	9,35
Молибденовый ангидрид	MoO_3	788	57,45	56,80	62,05	60,04

лить две основные группы — оксидные и галоидные. Оксидные флюсы в процессе флюсования взаимодействуют главным образом с оксидной пленкой, галоидные — с основным металлом. К оксидным относятся наиболее распространенные флюсы на основе тетраборнокислого натрия и борной кислоты, а также на основе стекол. Флюсующую активность тетраборнокислого натрия можно оценить на основе растворимости в нем некоторых оксидов металлов, приведенных в табл. 5.

В процессе флюсования оксидными флюсами протекают реакции между оксидами оксидной пленки $\text{MeO}_{(o.n)}$ и оксидами флюса $\text{MeO}_{(ф)}$ по схеме *

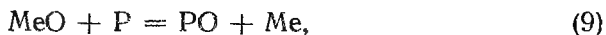


Флюсование галоидными флюсами можно продемонстрировать на примере пайки алюминия с флюсами на основе хлористого цинка:



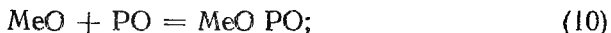
Процессы самофлюсования при пайке на основе современных представлений связаны:

с восстановительными свойствами компонентов припоя, которые взаимодействуют с оксидами паяемого металла по реакции



где MeO — оксид металла; P — раскислитель;

с флюсующей ролью оксидов, образующихся при окислении раскислителя,



с разрушением оксидной пленки под действием расплава припоя в результате адсорбционного понижения прочности, диспергирования и последующего растворения в расплаве.

При пайке несамофлюсующимися припоями в нейтральных газовых средах и вакууме ведущую роль в удалении оксидной пленки играют адсорбционный эффект и диспергирование оксидной пленки под действием расплава припоя.

В восстановительной среде дополнительно к указанным процессам накладывается восстановление оксидов пленки.

Влияние основного металла на процесс самофлюсования связано с природой и строением образующейся на нем оксидной пленки, со способностью ее разрушаться под действием нагрева и образовывать легкоплавкие шлаки с оксидами припоя.

* В работе [5] правомерно предлагается оказывать предпочтение флюсам данной системы. На основе флюсующих свойств оксидов созданы флюсы для пайки магниевых сплавов, в которых активным флюсующим компонентом являлись оксиды цинка и алюминия [6].

6. Растворимость кислорода в металлах

Наименование металла	Химический знак	Температура, °C			Растворимость кислорода (молярная доля), %
		плавления	кипения	растворения	
Медь	Cu	1083	2570	1200	5,7
Серебро	Ag	960,8	2200	1000	2,0
Никель	Ni	1455	2900	1200	0,044
Хром	Cr	1850	2629	1850	2,5
Кобальт	Co	1492	2900	1700	1,15
Железо	Fe	1537	3070	1537	0,6
Палладий	Pd	1552	4000	1200	0,4
Кремний	Si	1420	3240	1420	0,004
Олово	Sn	231,9	2750	1750	45,0
Свинец	Pb	327,3	1740	600	0,035

Данные о растворимости кислорода в металлах, входящих в состав высокотемпературных припоев, приведены в табл. 6. Из таблицы видно, что кислород особенно интенсивно растворяется в расплавленных олове и меди. При охлаждении расплава меди растворенный кислород переходит в оксиды. При массовой доле O_2 0,39% образуется эвтектика медь—кислород с температурой плавления 1065 °C.

Серебро, являющееся основой обширного класса серебряных припоев, по отношению к углеродистым сталям, как и медь, обладает самофлюсующими свойствами, но активность процесса самофлюсования несколько ниже. Превалирующим в этом случае является удаление оксидной пленки в результате ее диспергирования.

При пайке припоями, относящимися к самофлюсующим, т. е. содержащими в своем составе специальные добавки, интенсивность процесса удаления пленки с паяемого металла наряду с растворяющим действием основы припоя зависит от физико-химических свойств флюсующих добавок. Такие самофлюсующие припои, как эвтектика медь—фосфор, припой ВПр4, ПСр 72ЛМН при одинаковых условиях пайки удаляют оксидную пленку более активно, чем медь и серебро. Флюсующие добавки интенсифицируют процессы раскисления окисной пленки. Однако они могут и непосредственно вступать во взаимодействие с паяемым металлом и изменять кинетику процесса самофлюсования. Например, при пайке припоями системы медь—фосфор наряду с восстановлением оксидной пленки протекает реакция образования интерметаллида Fe_3P .

Учитывая количество вводимых в припой флюсующих добавок и общее количество припоя, находящегося в капиллярном зазоре при пайке, можно сделать вывод, что процесс самофлюсования

главным образом связан с адсорбционным понижением прочности, диспергированием оксидной пленки и последующим растворением ее в расплаве припоя. Влияние флюсующих добавок и продуктов взаимодействия этих добавок на оксидную пленку основного металла не является определяющим. Это обстоятельство требует соблюдения строгих требований по чистоте применяемых припоев, поскольку только расплавы бескислородных металлов способны активно растворять в своем составе в значительном количестве оксиды и, следовательно, образовывать спай, обладающие высокой прочностью.

При высокотемпературной пайке на процесс удаления с поверхности металлов оксидной пленки оказывает влияние также растворение паяемого металла в расплаве припоя и его испарение. Предельная растворимость алюминия, меди и титана в расплавах металлов, входящих в состав припоев, при различных температурах приведена на рис. 7 [3]. Температуры заметного испарения некоторых элементов в вакууме приведены в табл. 7.

Смачивание и растекание припоев. Согласно первому закону капиллярности (формула Лапласа), выведенному для жидкостей, не взаимодействующих с твердым телом,

$$p_1 - p_2 = \sigma_{12} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (11)$$

7. Температура заметного испарения некоторых элементов в вакууме

Наименование	Химический знак	Температура заметного испарения, °C		Наименование	Химический знак	Температура заметного испарения, °C	
		1,33 Па (10 ⁻² мм рт. ст.)	13,3 Па (10 ⁻¹ мм рт. ст.)			1,33 Па (10 ⁻² мм рт. ст.)	13,3 Па (10 ⁻¹ мм рт. ст.)
Медь	Cu	946	1035	Олово	Sn	823	922
Серебро	Ag	763	848	Свинец	Pb	483	548
Бериллий	Be	942	1029	Ванадий	V	1456	1586
Магний	Mg	287	331	Ниобий	Nb	2124	2355
Цинк	Zn	211	248	Тантал	Ta	2407	2599
Кадмий	Cd	148	180	Сурьма	Sb	466	525
Бор	B	1052	1140	Хром	Cr	907	592
Алюминий	Al	724	808	Молибден	Mo	1923	2090
Индий	In	667	746	Вольфрам	W	2554	2767
Торий	Th	405	461	Марганец	Mn	717	791
Углерод	C	2129	2288	Железо	Fe	1094	1195
Кремний	Si	1024	1116	Кобальт	Co	1249	1362
Титан	Ti	1134	1249	Никель	Ni	1157	1257
Цирконий	Zr	1527	1660	Палладий	Pd	1156	1271
				Платина	Pt	1606	1744

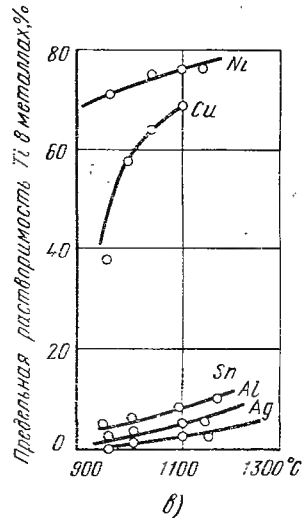
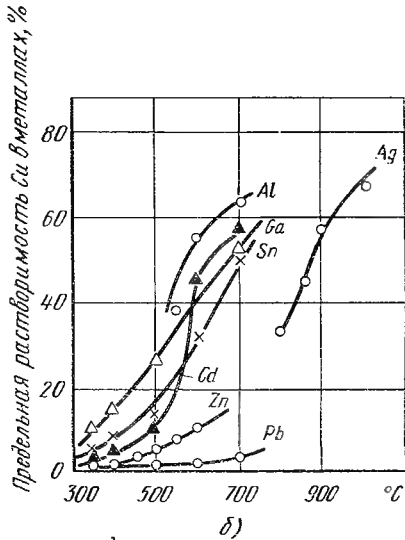
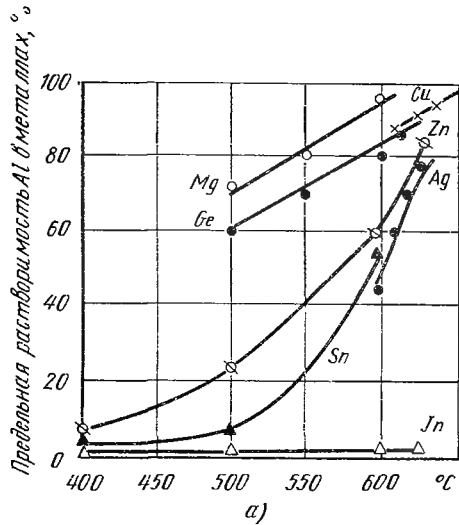


Рис. 7. Предельная растворимость в металлах, входящих в состав припоев, в зависимости от температуры растворения:
 а — алюминия; б — меди; в — титана

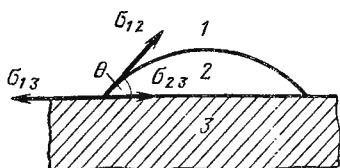


Рис. 8. Схема сил поверхностного натяжения капли жидкости на поверхности твердого тела: 1 — газ; 2 — жидкость; 3 — твердое тело

где p_1 и p_2 — давления соответственно с вогнутой и выпуклой стороны поверхности жидкости; σ_{12} — поверхностное натяжение жидкости на границе с газовой средой; R_1 и R_2 — радиусы кривизны поверхности.

Из формулы следует, что капиллярные явления определяет поверхностный слой жидкости, имеющий кривизну и производящий на жидкость добавочное давление по сравнению с тем, какое она испытывает при наличии плоской поверхности.

При растекании капли жидкости по плоской поверхности твердого тела условия ее равновесия выражаются в виде равновесия векторов сил поверхностного натяжения в точке на границе трех фаз. Этой границей является периметр смачивания (рис. 8)

$$\sigma_{13} = \sigma_{23} + \sigma_{12} \cos \theta, \quad (12)$$

где σ_{13} — поверхностное натяжение между твердым телом и газовой средой, действующее на каплю по периметру ее основания; σ_{23} — поверхностное натяжение жидкости на границе с твердым телом; θ — краевой угол смачивания.

Это уравнение является вторым законом капиллярности (равенство Юнга). Отсюда следует

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{13} - \sigma_{23}}{\sigma_{12}}, \quad (13)$$

где $\cos \theta$ — коэффициент смачивания, характеризующий смачивающую способность жидкости.

В процессе пайки происходит активное взаимодействие между основным металлом и расплавленным припоем, поэтому капиллярные явления, протекающие при пайке, более сложны.

Растекание расплава припоя, как и всякой жидкости, по поверхности твердого тела определяется соотношением сил адгезии припоя к поверхности основного металла и когезии, характеризующей силами связи между частицами припоя.

Работа адгезии определяется поверхностной энергией, освобождающейся при смачивании:

$$A_{\text{адг}} = \sigma_{13} + \sigma_{12} - \sigma_{23}. \quad (14)$$

Полное растекание припоя имеет место при краевом угле смачивания $\theta = 0$.

Когезия частиц припоя оценивается работой, необходимой для образования двух новых поверхностей жидкости: $A_{\text{ког}} = 2\sigma_{12}$.

Растекание капли расплава припоя по паяемому материалу произойдет, если работа адгезии будет равна или больше работы когезии частиц припоя. Разность между ними называют коэффициентом растекания:

$$k = A_{\text{адг}} - A_{\text{ког}} = \sigma_{12}(1 + \cos \theta) - 2\sigma_{12} = \sigma_{12}(\cos \theta - 1). \quad (15)$$

Следовательно, растекаемость расплава припоя по основному металлу определяется его поверхностным натяжением и краевым углом смачивания. Поверхностное натяжение жидких металлов при температуре плавления приведено в табл. 8.

Растекание припоя по паяемому материалу при пайке в отдельных случаях происходит в две стадии: первая соответствует быстрому растеканию под действием сил поверхностного натяжения, вторая характеризуется медленным растеканием (вторичное растекание). Вторичное растекание имеет место, например, при пайке меди припоями, содержащими 30—70% Pb. Природа этого явления связана с образованием между паяемым металлом и припоем сплава, обладающего более высокой смачивающей способностью, чем припой в исходном состоянии. Зависимости растекания и затекания в зазор при пайке меди и никеля в среде аргона оловянно-свинцовых припоев приведены на рис. 9 [7].

На растекание припоев в вакууме большое влияние оказывает разрежение в камере пайки.

С повышением степени разрежения при постоянной температуре парциальное давление кислорода в камере пайки будет снижаться, что должно способствовать диссоциации оксидов и улучшению условий смачивания паяемого металла расплавленным припоем. Результаты экспериментов, однако, свидетельствуют о том, что наименьшая температура смачивания Ga, In, Sn, Cu соответствует разрежению 1,33 Па.

Эта аномалия влияния вакуума на температуру смачивания и интенсивность растекания припоев по основному металлу может быть объяснена своеобразием процесса взаимодействия остаточных

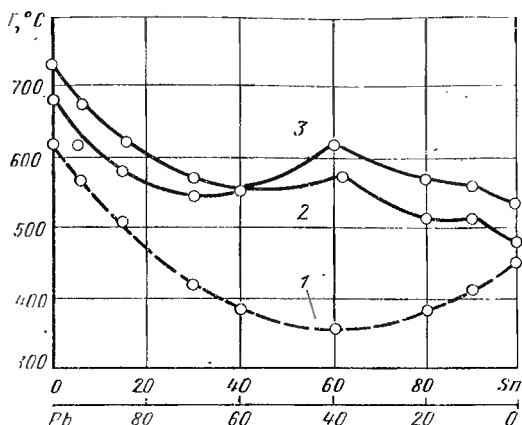


Рис. 9. Начало растекания по меди (1) и затекание в зазор с образованием галтелей оловянно-свинцовых припоев на меди (2) и никеле (3) в среде аргона в зависимости от температуры

8. Поверхностное натяжение жидких металлов $\sigma_{ж. г}$ Н/м (эрг/см²), при температуре плавления

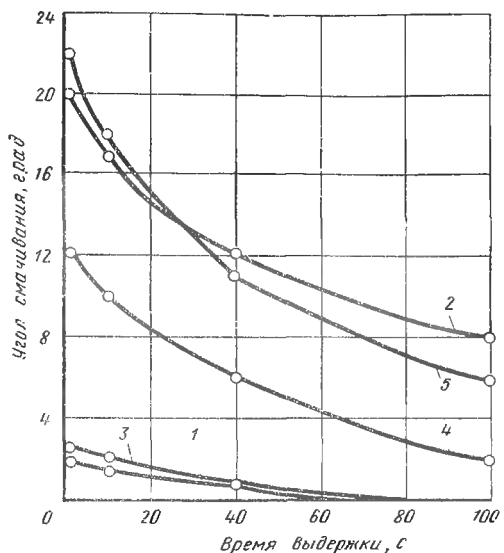
Наименование	Химический знак	$\sigma_{ж. г}$	Наименование	Химический знак	$\sigma_{ж. г}$	Наименование	Химический знак	$\sigma_{ж. г}$
Серебро	Ag	0,930 (930)	Алюминий	Al	0,914 (914)	Золото	Au	1,134 (1134)
Барий	Ba	0,330 (330)	Бериллий	Be	1,145 (1145)	Висмут	Bi	0,390 (390)
Кальций	Ca	0,420 (420)	Кадмий	Cd	0,558 (558)	Церий	Ce	0,680 (680)
Кобальт	Co	1,870 (1870)	Хром	Cr	1,590 (1590)	Цезий	Cs	0,060 (60)
Медь	Cu	1,351 (1351)	Диспрозий	Dy	0,640 (640)	Ербий	Er	0,620 (620)
Европий	Eu	0,450 (450)	Железо	Fe	1,840 (1840)	Галлий	Ga	0,707 (707)
Гадолиний	Gd	0,650 (650)	Германий	Ge	0,600 (600)	Гафний	Hf	1,460 (1460)
Ртуть	Hg	0,478 (478)	Гольмий	Ho	0,650 (650)	Индий	In	0,559 (559)
Иридий	Ir	2,400 (2400)	Калий	K	0,101 (101)	Лантан	La	0,700 (700)
Литий	Li	0,398 (398)	Лютеций	Lu	0,950 (950)	Магний	Mg	0,569 (569)
Марганец	Mn	1,750 (1750)	Молибден	Mo	2,050 (2050)	Натрий	Na	0,191 (191)
Ниобий	Nb	2,150 (2150)	Неодим	Nd	0,680 (680)	Никель	Ni	1,810 (1810)
Осьмий	Os	2,600 (2600)	Свинец	Pb	0,480 (480)	Палладий	Pd	1,600 (1600)
Празеодим	Pr	0,590 (690)	Платина	Pt	1,740 (1740)	Радий	Ra	0,450 (450)
Рубидий	Rb	0,090 (90)	Рений	Re	2,500 (2500)	Родий	Rh	2,050 (2050)
Рутений	Ru	2,050 (2050)	Сурьма	Sb	0,384 (384)	Скандий	Sc	0,800 (800)
Селен	Se	0,106 (106)	Кремний	Si	0,860 (860)	Самарий	Sm	0,620 (620)
Олово	Sn	0,554 (554)	Стронций	Sr	0,350 (350)	Тантал	Ta	2,400 (2400)
Тербий	Tb	0,650 (650)	Торий	Th	1,050 (1050)	Таллий	Tl	1,390 (1390)
Таллий	Tl	0,490 (490)	Тулий	Tu	0,620 (620)	Ванадий	V	1,300 (1300)
Ванадий	V	1,750 (1750)	Вольфрам	W	2,300 (2300)	Иттрий	Y	0,900 (900)
Уран	U	0,450 (450)	Цинк	Zn	0,810 (810)	Цирконий	Zr	1,400 (1400)

Рис. 10. Зависимость угла смачивания меди при температуре пайки от времени выдержки припоями, приведенными в табл. 9

газов в камере пайки с паяемым металлом и расплавом припоя [8].

В восстановительной среде водорода смачивание основного металла расплавом припоя зависит от глубины протекания процесса восстановления оксидов оксидной пленки. На рис. 10 и 11 приведены экспериментальные данные по смачиванию бескислородной меди (Cu — 99,97%) и ковара марки Н29К18 припоями, приведенными в табл. 9. Из этих данных можно видеть, что характер изменения угла смачивания для припоев различен, с увеличением выдержки он для всех припоев планомерно снижается. Краевые углы смачивания определялись в среде водорода, выдержка при температуре ликвидуса припоя 100 с [9].

Капиллярное течение припоев. Экспериментально установлено, что прямой зависимости между растеканием и течением припоя в зазоре нет. Так, припой на алюминиевой основе хорошо растекается по поверхности сплава АМг6, но не затекает в капиллярный зазор. В то же время припой системы никель—хром—кремний плохо растекается по поверхности стали 12Х18Н9Т, сплава



9. Составы и температуры плавления припоев

Обозначение припоя	Химический состав (массовая доля), %	Температура плавления, °С
1	Ag — 68; Pd — 5; Cu — остальное	807—810
2	Ag — 59; Pd — 10; Cu — остальное	824—825
3	Ag — 65; Pd — 15; Co — 0,4; В — 0,1; Cu — остальное	890—905
4	Ag — 70; Sn — 2; Ga — 1; Cu — остальное	710—753
5	Система Ag—Cu—Ni	840—870
6	Система Ag—Pd—Ni	1160—1180

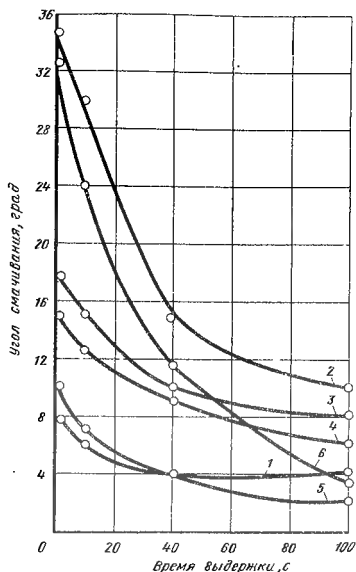


Рис. 11. Зависимость угла смачивания кобальта при температуре пайки от времени выдержки припоями, приведенными в табл. 9

ХН77ТЮР, но хорошо растекают в капиллярные зазоры. Это явление связано с характером взаимодействия расплавленного припоя с паяемым материалом. В капиллярном зазоре расплавленный припой интенсивно насыщается компонентами паяемого металла, что ведет к потере жидкотекучести.

При низкотемпературной пайке в газовых средах капиллярное течение

припоев в большой степени зависит от природы и количества активирующего компонента газовых сред, состава, применяемого припоя, стойкости оксидной пленки на основном металле. Экспериментально найденные температуры начала и конца удаления оксидной пленки на меди при пайке ее припоями системы свинец—олово в газовых средах приведены в табл. 10 [7].

При изучении капиллярного течения припоев в зазоре используют, с одной стороны, статическую теорию, рассматривающую форму жидкости, находящейся на поверхности твердого тела в условиях наименьшей свободной поверхностной энергии системы, с другой — динамическую теорию, рассматривающую течение жидкости. На основе первой теории можно оценить силы, под действием которых происходит течение припоев в процессе пайки; вторая теория применяется для установления причин, от которых зависит заполнение зазора припоем.

Согласно статической теории избыточное давление может быть выражено через высоту столба жидкости над заданным уровнем и через его плотность. Например, если жидкость течет по капилляру диаметром d (рис. 12, а), то высота его поднятия над заданным уровнем поверхности ванны согласно первому уравнению капиллярности будет

$$h = \frac{4\sigma_{12} \cos \theta}{d\gamma g}, \quad (16)$$

где γ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения.

10. Температуры начала и конца удаления оксидной пленки на меди в зависимости от состава припоя и газовой среды

Припой	Газовая среда	Температура, °C	
		начала	окончании
Свинец	Аргон	620	645
	Азот	659	750
	Аргон + H ₂	659	699
ПОС 5	Аргон	464	710
	Азот	593	750
	Аргон + H ₂	454	654
ПОС 40	Аргон	480	600
	Азот	385	479
	Аргон + H ₂	321	564
ПОС 61	Аргон	230	575
	Азот	328	479
	Аргон + H ₂	296	573
Олово	Аргон	390	645
	Азот	573	750
	Аргон + H ₂	312	560

В случае капиллярного течения между двумя параллельными пластинами (рис. 12, б) высота поднятия жидкости определится из тех же соотношений:

$$h = \frac{2\sigma_{12} \cos \theta}{a\gamma g}, \quad (17)$$

где a — размер зазора.

В обоих случаях свободная поверхность жидкости имеет кривизну радиуса R . Если сила тяжести жидкости, находящейся в капилляре, превышает результирующую капиллярных сил, то жидкость в капилляре будет понижаться до такого уровня, при котором эти силы уравниваются. В условиях пайки это приводит к тому, что участки шва, расположенные выше определенного уровня, остаются не заполненными припоем и, следовательно, соединение оказывается пропаянным не по всей площади.

Согласно динамической теории скорость течения расплавленного припоя зависит от размеров нахлестки и зазора разности давлений на входе и выходе из зазора, а также от вязкости припоя. Поскольку динамическая теория не учитывает наличия взаимодействия припоя с паяемым материалом в процессе пайки, а

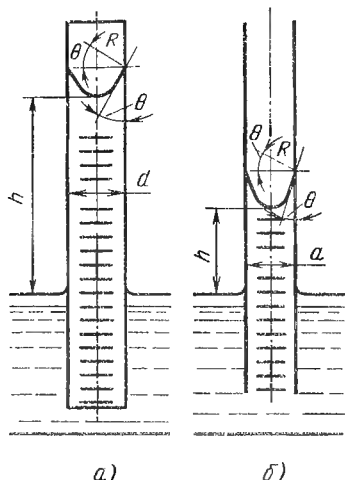


Рис. 12. Схема поднятия жидкости:

a — по капилляру круглого сечения; $б$ — в зазоре между параллельными пластинами

максимальном значении последнего. Глубина затекания согласно уравнению не ограничивается, если имеется расплав припоя. В действительности за счет растворения паяемого материала в расплаве припоя свойства его могут настолько изменяться, что течение в зазоре прекратится, несмотря на избыток припоя.

Если при горизонтальном расположении шва согласно динамической теории припой может течь беспредельно при наличии перепада давления, то в случае вертикального расположения шва течение припоя прекращается, как только сила тяжести его столба уравнивает разность давлений. В этом случае перепад давления станет равным нулю:

$$\frac{2\sigma_{12}}{a} - \gamma gh = 0,$$

откуда максимальная высота подъема припоя

$$h_{\max} = \frac{2\sigma_{12}}{\gamma ga}. \quad (19)$$

Из (19) следует, что с уменьшением зазора максимальная высота подъема припоя будет непрерывно расти (экспериментально не подтверждается). При прочих равных условиях с уменьшением зазора глубина затекания расплава припоя в капиллярный зазор вначале возрастает, а затем падает.

исходит из условия непрерывного движения в капиллярном зазоре невзаимодействующих жидкостей, то результаты ее отличаются от получаемых экспериментально.

При горизонтальном расположении шва глубина затекания припоя в зазор согласно динамической теории определяется зависимостью

$$l = \sqrt{\frac{\sigma_{12}a}{3\eta}} t, \quad (18)$$

где η — вязкость припоя; t — время, необходимое для затекания припоя на глубину l .

Из выражения (18) следует, что между глубиной затекания припоя и величиной зазора есть прямая зависимость, которая на практике не соблюдается. При прочих равных условиях наибольшая глубина затекания припоя в зазор будет при опти-

В реальных условиях течение расплавленного припоя в зазоре зависит от многих факторов. Так как влияние всех этих факторов теоретически трудно учесть, то на практике высоту поднятия припоя в зазоре для каждого конкретного сочетания паяемый материал — припой определяют путем экспериментов, результаты которых оформляют в виде графиков $h = f(a)$, где a — размер зазора.

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ, ФОРМИРОВАНИЕ ПАЯНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Зазоры при пайке применяют обычно в пределах 0,05—0,2 мм, поэтому количество жидкого металла в них незначительно. Взаимодействие между твердым и расплавленным металлом приводит к изменению состава исходной жидкой фазы; при высокотемпературной пайке припой особенно интенсивно легируется компонентами паяемого металла. Легирование усиливается в связи с отсутствием на нем оксидной пленки и наличием вследствие этого непосредственного металлического контакта с расплавом припоя; происходит интенсивное растворение паяемого металла. Растворение ослабевает, когда в припой вводят компоненты, входящие и в состав паяемого металла. Исходный состав припоя в процессе пайки может меняться не только за счет растворения в нем паяемого металла, но и в результате избирательной диффузии компонентов припоя в паяемый металл, испарения наиболее летучих его компонентов, окисления и удаления в шлак за счет газовой и шлаковой фаз.

Влияние состояния поверхности паяемого металла приводит к тому, что кристаллизация с самого начала в той или иной степени ориентирована, т. е. имеет место определенное соотношение между формой и размерами кристаллической ячейки затвердевающего металла зоны сплавления и паяемого металла.

При наличии оксидной пленки или слоя интерметаллического соединения на основном металле ориентирующее действие подложки даже при незначительной толщине указанных слоев практически не проявляется.

На процессы, протекающие между твердой и жидкой фазами, большое влияние оказывает диффузия по границам зерен.

При отсутствии проникновения расплава припоя по границам зерен основного металла диффузионные процессы приводят к образованию относительно равномерных диффузионных зон, распределение элементов в которых зависит от природы взаимодействующих металлов и условий процесса. Состав диффузионных зон, образующихся при реакционно-флюсовой пайке алюминия, приведен на рис. 13 [10].

Исследование влияния количества жидкой фазы в шве на формирование спая на примере пайки низкоуглеродистой электро-

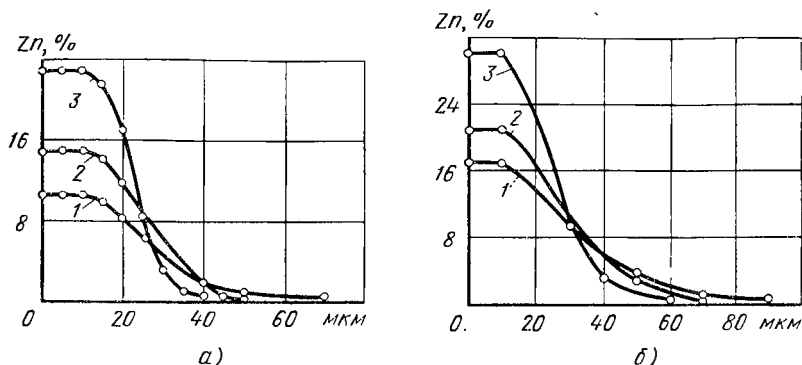


Рис. 13. Состав диффузионных зон в зависимости от температуры пайки:

1 — 610 °С; 2 — 580 °С; 3 — 550 °С; а — по данным рентгеноспектрального анализа; б — по данным измерения микротвердости

технической стали медью показало, что в среде водорода в больших зазорах (около 2—0,5 мм) кристаллизация в шве происходит с образованием развитой дендритной структуры. При зазорах 0,4—0,3 мм затвердевание идет путем образования и роста крупных ячеистых кристаллов на границе с железом и разветвленных кристаллов в центральной части шва. С уменьшением зазора преобладающей становится ячеистая форма затвердевания. При зазоре 0,05 мм кристаллизация происходит путем образования по ширине шва одного ряда плоских зерен. Зона сплавления в случае пайки этой стали медью при температуре 1100 °С представляет собой однофазный твердый раствор железа в меди. При взаимодействии многокомпонентных основного металла и припоя при больших зазорах в центральной части шва происходит образование легкоплавкой и малопрочной фазы (показано стрелками, рис. 14). При применяемых на практике зазорах и выдержках средний состав зоны сплавления непостоянен. Содержание растворенного в припое основного металла возрастает с уменьшением зазора (табл. 11).

Во всех случаях с уменьшением зазора содержание паяемого металла в шве увеличивается (рис. 15). Если принять, что перенос паяемого металла в расплав припоя происходит за счет атомной диффузии, то можно оценить время, необходимое для насыщения расплава припоя основным металлом. При пайке железа медью согласно уравнению Фика

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2}. \quad (20)$$

Начальные и граничные условия имеют вид: $c(x, 0) = 0$ при $0 < x < a$; $c(x, t) = c_0$ при $x = a$, где a — зазор; t — время;

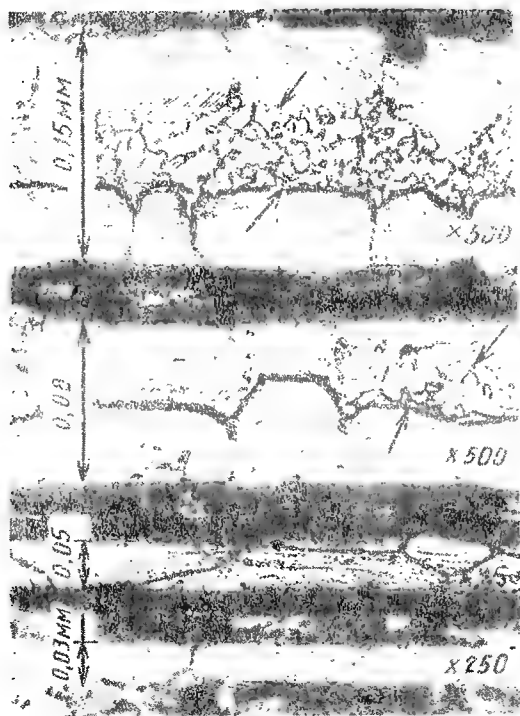


Рис. 14. Микроструктура шва при пайке стали Ст3 припоем П-49 в среде водорода при температуре 1100 °С с зазорами 0,15; 0,08; 0,05 и 0,03 мм

11. Среднее содержание железа в зоне сплавления. Пайка железа медью при температуре 1100 °С в среде водорода

Зазор, мм	Время выдержки при температуре пайки, мин	Среднее содержание железа в зоне сплавления (массовая доля), %
0,06	1	3,9
0,14	1	3,0
0,14	60	2,9
0,29	1	3,1
0,70	1	2,7
2,0	1	2,4

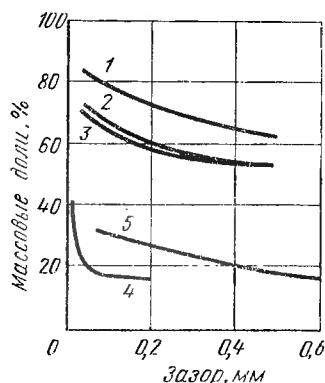


Рис. 15. Изменение содержания паяемого металла в шве в зависимости от размера зазора:

1—3 — при пайке меди припоем ПСр 70, температура пайки 875 °С; 4 — при пайке цинка припоем ПОСК 51, температура пайки 200 °С; 5 — при пайке алюминия цинком, температура пайки 480 °С

c_0 — предельная концентрация железа в меди. При зазоре $a = 10^{-2}$ см время насыщения, с, до $0,9c_0$:

$$t = \frac{2,3a^2}{\pi^2 D} \approx \frac{2,3 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot 8 \cdot 10^{-6}} = 0,3.$$

Формирование галтелей паяных соединений. Свойства паяных соединений в значительной мере определяются характером галтелей, которые в зависимости от типа соединений могут воспринимать до 75% нагрузки. Процессы образования галтелей паяного соединения зависят от природы взаимодействующих металлов, зазора, режима пайки, характера флюсования и других факторов. При прочих равных условиях образование галтелей определяется количеством жидкой фазы в шве. Галтель паяного соединения можно рассматривать как своеобразную емкость, которая в процессе пайки заполняется расплавом припоя. При оптимальном количестве припоя в шве и необходимых условиях формирования спая образуются полномерные галтели. Избыток жидкой фазы, неравномерность зазора ведут к искажению формы галтелей, к образованию наплывов.

В основу расчета равновесной формы галтели кладется зависимость, описывающая форму поверхности жидкости, граничащей с плоским вертикальным элементом детали [6, 12].

Применение расчетных методов позволяет обеспечить формирование полномерных галтелей при минимальном расходе припоя.

Влияние состава припоя и газовой среды в камере пайки на свойства паяных соединений. Изменение свойств паемого металла происходит не только под влиянием нагрева и взаимодействия с расплавом припоя, но и под действием газовой среды, находящейся в камере пайки. Влияние газовых сред особенно заметно проявляется, когда паемый металл активно взаимодействует с газовыми средами. Из конструкционных материалов, применяемых в паяных изделиях, таким свойством обладают титан и сплавы на его основе.

Толщины оксидных пленок, образующихся при окислении титана ВТ1 на воздухе, приведены в табл. 12.

Пайку титановых сплавов производят при температуре около 1000°C , поэтому при наличии окислительной атмосферы взаимодействие кислорода с титаном в процессе пайки протекает с большой интенсивностью.

При пайке титана, содержащего повышенное количество водорода в вакууме, достигается не только улучшение условий пайки, но и обезводороживание паемого металла. Применение низкого вакуума с повышенным содержанием примесей приводит к уменьшению пластичности металла, что становится особенно опасным при пайке тонколистовых конструкций. В этом случае использование вместо вакуума аргона может снизить содержание примесей.

Если необходимо сохранение пластичности титана, то, несмотря на удовлетворительное протекание процесса пайки в вакууме, вопрос предпочтительности вакуума или аргона следует решать с учетом содержащихся в них вредных примесей.

При сравнении содержания кислорода в вакууме и аргоне:

$$p_{O_2}^v = c_0 p_v; \quad (21)$$

$$p_{O_2}^{Ar} = c p_{Ar},$$

где $p_{O_2}^v$, $p_{O_2}^{Ar}$ — парциальное давление кислорода соответственно в вакууме и аргоне; c_0 , c — концентрация кислорода соответственно в воздухе и аргоне при нормальных условиях; p_v и p_{Ar} — остаточное давление вакуума и давление аргона при пайке.

Преимущество одной среды перед другой по содержанию в них вредных примесей оценивается коэффициентом

$$K_{O_2} = p_{O_2}^{Ar} / p_{O_2}^v. \quad (22)$$

Предпочтительность аргона перед вакуумом, вакуума перед аргонном, равноценность этих сред по содержанию в них кислорода запишется соответственно: $K_{O_2} < 1$; $K_{O_2} > 1$; $K_{O_2} = 1$.

При $c = 0,21\%$, а также при использовании аргона марки А по ГОСТ 10157—79*, концентрация кислорода в котором составляет 0,00003%, выражение (22) примет вид

$$K_{O_2} = 1,43 \cdot 10^{-4} (p_{Ar} / p_v). \quad (23)$$

Эта зависимость представлена на рис. 16, где в качестве осей координат приняты величины p_{Ar} и p_v . Из графика видно, что если в зоне пайки создать вакуум с остаточным давлением 1,33 Па или подвести аргон, давление которого составляет 0,1 МПа, то $K_{O_2} = 10$. Следовательно, парциальное давление кислорода в аргоне в 10 раз выше, чем в вакууме, и применение вакуума в этом случае предпочтительнее аргона. Если же в камере пайки создать вакуум с остаточным давлением 133 Па или подвести аргон, дав-

12. Толщины оксидных пленок мм, при окислении титана ВТ1 на воздухе

Температура, °C	Время выдержки, ч			
	0,5	1	2	4
800	—	—	—	—
900	0,012	0,02	0,03	0,05
1000	0,035	0,06	0,10	0,19

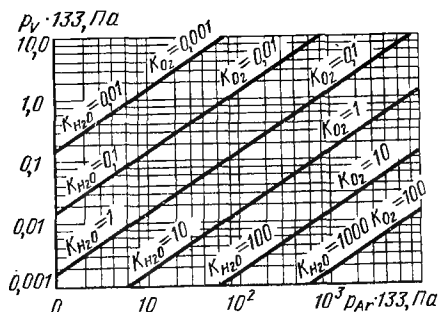


Рис. 16. Зависимость коэффициентов K от давления аргона и степени разрежения в камере пайки

ление которого, как и в первом случае, равно 0,1 МПа, то $K_{O_2} = 0,1$, и применение аргона будет более предпочтительным. Линия, соответствующая $K_{O_2} = 1$, разделяет график на две зоны. Выше этой линии находится область, где предпочтительнее использовать аргон, ниже — область предпочтительного использования вакуума.

Для оценки влияния содержания паров воды получена зависимость

$$k_{H_2O} = 1,43 \cdot 10^{-3} \left(\frac{p_{Ar}}{p_v} \right), \quad (24)$$

которая установлена при условии, что температура в камере пайки при применении вакуума в исходном состоянии составляла 25 °С, а концентрация водяных паров при этой температуре равна 21 г/м³. Содержание паров воды в аргоне взято равным 0,03 г/м³. Значения K_{H_2O} представлены на рис. 16 теми же линиями, что и K_{O_2} , но смещены на порядок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрунин И. Е. О характере границ основной металл — расплавленный припой//Пайка материалов в машиностроении. Рига: ЛатИНТИ, 1968. С. 3—13.
2. Петрунин И. Е. О строении спаев и пайке с большими зазорами//Новые материалы и технология пайки в машиностроении. М.: НТО Машпром, 1971. С. 8—14.
3. Лашко Н. Ф., Лашко С. В. Вопросы теории и технологии пайки. Изд. Саратовского университета. 1974. 248 с.
4. Фудзита Ф. Разрушение твердых тел. М.: Металлургия, 1967. 450 с.
5. Россошинский А. А. Некоторые предпосылки к теории образования паяных соединений//Новые достижения в области пайки. Киев, 1981. С. 128.
6. Справочник по пайке. 2-е изд., перераб. и доп./Под ред. И. Е. Петрунина. М.: Машиностроение, 1984. 400 с.
7. Шейн Ю. Ф. Особенности бесфлюсовой пайки низкотемпературными припоями//Надежность и качество паяных изделий/Под общей ред. И. Е. Петрунина. М.: НТО Машпром, 1982. 168 с.
8. Ракоч А. Г., Краецкий Г. А., Аникин Л. Г. Влияние способа нагрева и степени вакуумирования на смачивание и растекание в системе жидкий висмут—медь//Сварочное производство. 1980. № 12. С. 11—12.
9. Селиванов А. Н., Гржимальский Л. Л. Смачивающая способность некоторых припоев для вакуумноплотной пайки металла с керамикой//ЛатИНТИ. Пайка материалов в машиностроении. Ч. 2, Рига, 1968. С. 36—41.
10. Екатова А. С., Парфенова Л. В., Баранов Н. С. Реакционно-флюсовая пайка алюминия в солевой ванне//Теоретические основы пайки металлов/Под ред. И. Е. Петрунина, М., 1973. С. 71—75.
11. Петрунин И. Е. Физико-химические процессы при пайке. М.: Высшая школа, 1972. 280 с.
12. Куфайкин А. Я. Особенности формирования полных галтелей паяных соединений таврового типа//Надежность и качество паяных изделий. Саратов, 1982. С. 30—35.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА И ПРИПОЯ

Монолитность металла, являющаяся показателем совместимости входящих в него атомов, определяется силами связи взаимодействующих в нем элементарных частиц. Взаимодействие проявляется, когда частицы сближены на расстояния, соизмеримые с периодом кристаллической решетки.

В процессе пайки сближение разнородных, находящихся в разном фазовом состоянии металлов обеспечивается за счет удаления с поверхности твердого и жидкого металлов оксидных и других пленок, мерами предупреждения взаимодействия с окружающей средой, повышением энергетического состояния системы взаимодействующих веществ. Из квантовой механики известно, что связи между атомами в кристаллической решетке образуют электроны [1, 2].

Энергия взаимодействия между атомами состоит из сил притяжения между электронами и положительными ионами и сил отталкивания между ионами за счет деформации их электронных оболочек. Схематичное распределение сил отталкивания (1) и притяжения (2) в зависимости от расстояния между атомами приведено на рис. 1. Результирующая этих сил (кривая 3) обращается в нуль на расстоянии a_0 , соответствующем равновесному положению атомов. С увеличением нагрева, по мере приближения к температуре пайки амплитуда колебаний атомов в кристаллических решетках основного металла (подложки) увеличивается и может возрасти до 0,11—0,13 межатомного расстояния. При температуре пайки, незначительно превышающей ликвидус припоя, последний сохраняет ориентировку атомов, свойственную кристаллическому строению.

Атомы расплава припоя, находящегося на подложке, совершают колебания вокруг некоторых центров равновесия. Время, в течение которого атом остается в данной точке, оценивается зависимостью

$$\tau = \tau_0 \frac{Q}{RT},$$

где τ_0 — период колебания под действием нагрева (теплового движения); Q — энергия активации; R — постоянная Больцмана; T — абсолютная температура.

Атомы расплава припоя, прилегающие к подложке, обладают большой кинетической и потенциальной энергией по сравнению

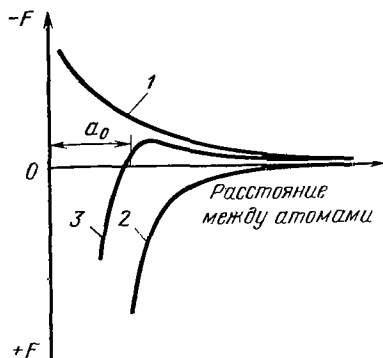


Рис. 1. Схема распределения сил отталкивания и притяжения (F) в зависимости от расстояния между атомами

с находящимися внутри объема. Некомпенсированные связи дают некоторый избыток потенциальной энергии, которую называют поверхностной энергией. Отнесенная к единице поверхности эта энергия представляет собой поверхностное натяжение. Поверхностное натяжение расплавов элементов в зависимости от положения в таблице Д. И. Менделеева представлено на рис. 2.

В расплаве припоя непрерывно происходит перемещение атомов в результате перехода из одного центра колебания в другой. С повышением температуры этот процесс усиливается.

Активность электронов атомов расплава образовывать соединения с электронами подложки зависит от атомного радиуса, определяемого как расстояние от центра ядра атома до внешней электронной оболочки, и величины энергии, необходимой для отрыва электрона от атома. С увеличением атомного радиуса снижается энергия ядра с внешними электронами и соответственно

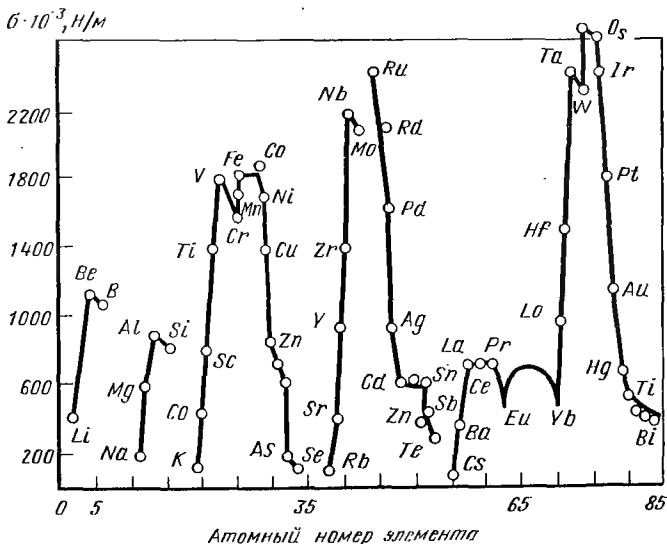


Рис. 2. Поверхностное натяжение расплавов элементов в зависимости от их места в таблице Д. И. Менделеева

1. Атомные радиусы металлов

Наименование элемента	Химический знак	Атомный радиус, нм	Наименование элемента	Химический знак	Атомный радиус, нм
Магний	Mg	1,60	Медь	Cu	1,28
Алюминий	Al	1,43	Цинк	Zn	1,37
Титан	Ti	1,47	Цирконий	Zr	1,60
Ванадий	V	1,36	Ниобий	Nb	1,47
Хром	Cr	1,30	Молибден	Mo	1,39
Марганец	Mn	1,27	Серебро	Ag	1,44
Железо	Fe	1,26	Платина	Pt	1,39
Кобальт	Co	1,25	Олово	Sn	1,58
Никель	Ni	1,25	Свинец	Pb	1,75

повышается способность атомов к взаимодействию. Значения атомных радиусов, наиболее широко применяемых в пайке металлов, приведены в табл. 1.

При образовании связей между атомами подложки и атомами расплава припоя происходит обмен электронами, активность которого зависит от энергии связи внешних электронов с ядром атома. Показателем энергии связи служит потенциал ионизации, т. е. наименьшее напряжение электрического поля, необходимое для отрыва электрона от атома, а также энергия выхода электронов при возникновении двойного слоя. Наименьшее напряжение, необходимое для отрыва первого электрона от атомов металлов, приведено в табл. 2.

Энергия выхода электрона, равная разности энергии внутренних и внешних электронов атомов металла, приведена в табл. 3.

В результате взаимодействия между атомами подложки и атомами расплава припоя возникают различные типы связей: полярная (молекулярная, Ван-дер-Ваальса), ионная (гетерополярная), ковалентная (гомополярная), металлическая. При полярной связи не происходит отрыва электронов, соединение атомов об-

2. Значения первых потенциалов ионизации атомов металлов

Наименование элемента	Химический знак	Потенциал ионизации, эВ	Наименование элемента	Химический знак	Потенциал ионизации, эВ
Магний	Mg	7,64	Цинк	Zn	9,39
Алюминий	Al	5,98	Цирконий	Zr	6,84
Титан	Ti	6,82	Ниобий	Nb	6,88
Хром	Cr	6,76	Молибден	Mo	7,10
Железо	Fe	7,87	Серебро	Ag	7,57
Кобальт	Co	7,86	Олово	Sn	7,34
Никель	Ni	7,63	Свинец	Pb	7,42
Медь	Cu	7,72	Платина	Pt	9,00
Вольфрам	W	7,98	Золото	Au	9,22

3. Энергия выхода электрона

Наименование элемента	Химический знак	Энергия выхода, эВ	Наименование элемента	Химический знак	Энергия выхода, эВ
Магний	Mg	3,60	Медь	Cu	4,50
Алюминий	Al	4,20	Цинк	Zn	4,20
Титан	Ti	4,10	Цирконий	Zr	13,90
Хром	Cr	4,60	Молибден	Mo	4,30
Железо	Fe	4,70	Серебро	Ag	4,30
Кобальт	Co	4,40	Олово	Sn	4,30
Никель	Ni	4,50	Свинец	Pb	4,00
Вольфрам	W	4,50	Платина	Pt	4,90

разуется в результате поляризации зарядов, вызывающей смещение электронов. Показатель прочности такой связи 0,1 эВ. Ионная связь обусловлена обменом электронов. Прочность ионной связи определяется взаимодействием противоположно заряженных ионов, показатель прочности ее 8,5 эВ. Ковалентная связь также обусловлена переходом электронов, но при этом образуется новая электронная оболочка, принадлежащая обоим атомам. Показатель прочности ковалентной связи 6,0 эВ. При металлической связи перешедшие с внешней оболочки одного атома на другой электроны принадлежат всем атомам металла, участвующим во взаимодействии. Показатель прочности такой связи 2,5 эВ [3]. Металлическая связь характерна для большинства металлов. Ковалентная связь образуется в случае взаимодействия Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Al с Mg, Cr, Li. Ионная связь наблюдается в соединениях Sn, Pb, Si, Ge с примесями кислорода, водорода, серы.

Наряду со строением атомов на совместимость металлов при пайке большое влияние оказывает кристаллическая структура металлов как в исходном состоянии, так и при температуре протекания процесса взаимодействия. Между кристаллическим строением металлов и положением их в таблице Д. И. Менделеева существует непосредственная связь (табл. 4). С ростом отношения в решетке числа электронов к числу атомов происходит изменение кристаллической структуры от объемно-центрированной кубической к гексагональной плотноупакованной, затем к кубической плотноупакованной и к алмазной. Значения энергии кристаллических решеток наиболее распространенных металлов приведены в табл. 5. Образующиеся в металле связи удерживают атомы в решетке кристалла на определенном расстоянии, образуя уравновешенную систему. На внешней поверхности металла атомы оказываются неуравновешенными, поскольку со стороны граничной среды силы взаимодействия с решеткой меньше, чем внутри кристалла.

4. Кристаллическая структура элементов

Элемент	Тип решетки	Тип структуры	Период решетки, 10^{-1}нм		
			a	c	c/a
Mg	Гексагональная	Mg	3,2072	5,2110	1,625
Al	Кубическая	Cu	4,04959	—	—
α -Ti	Гексагональная	Mg	2,95111	4,68433	1,593
β -Ti	Кубическая	α -Fe	3,287	—	—
V		α -Fe	3,0282	—	—
Cr		α -Fe	2,8829	—	—
α -Fe		α -Fe	2,86653	—	—
γ -Fe		Cu	3,6467	—	—
δ -Fe		α -Fe	2,9322	—	—
α -Co	Гексагональная	Mg	2,5053	4,0892	1,632
β -Co	Кубическая	Cu	3,5442	—	—
Ni		Cu	3,52387	—	—
Cu		Cu	3,64479	—	—
Zn	Гексагональная	Mg	2,6645	4,9451	1,856
Mo	Кубическая	α -Fe	3,14737	—	—
Ag		Cu	4,0860	—	—
Cd	Гексагональная	Mg	2,97912	5,61827	1,882
α -Sn	Кубическая	Алмаз	6,5043	—	—
β -Sn	Тетрагональная	β -Sn	5,8312	3,1814	0,546
Sn		—	3,70	3,57	0,911
W	Кубическая	α -Fe	3,16524	—	—
Pt		Cu	3,9233	—	—
Au		Cu	4,0782	—	—
Pb		Cu	4,9508	—	—

5. Энергия кристаллических решеток металлов, наиболее часто применяемых в паяных изделиях

Наименование	Химический знак	Энергия кристаллической решетки, мк Дж/кмоль	Наименование	Химический знак	Энергия кристаллической решетки, мк Дж/кмоль
Магний	Mg	150,2	Цинк	Zn	131,5
Алюминий	Al	314,1	Молибден	Mo	652
Титан	Ti	470,0	Серебро	Ag	290
Ванадий	V	503	Кадмий	Cd	116
Хром	Cr	337,5	Олово	Sn	302
Железо	Fe	405,5	Вольфрам	W	905
Кобальт	Co	430	Платина	Pt	510
Никель	Ni	426	Золото	Au	345
Медь	Cu	342	Свинец	Pb	194

Вводимая тепловая энергия при пайке снижает барьер поверхностной потенциальной энергии, и при определенном ее уровне становится возможным образование межатомных связей между твердым металлом и расплавом припоя. Атомы расплава припоя, первоначально находясь в тепловом равновесии с атомами кристаллов основного металла, имеют возможность перемещаться под действием сил связей. При достижении устойчивого равновесного состояния адсорбированные атомы пристраиваются к атомам подложки или к другим атомам припоя. Значительное влияние на происходящие процессы взаимодействия между металлами оказывают окружающая газовая и паровая фазы, способствующие усилению или ослаблению процессов взаимодействия между металлами. Образованию взаимной ориентации кристаллов подложки и образующейся из жидкости новой фазы способствует ориентированная кристаллизация (эпитаксия). В этом процессе существенную роль играют режим пайки, различия периодов решеток подложки и припоя, картина расположения атомов в кристаллах, взаимное расположение решеток в подложке. При взаимодействии твердой и жидкой фаз каждый кристалл подложки создает искажающее силовое поле, действующее и на соседние кристаллы подложки и на образующиеся кристаллы из жидкой фазы. На значение критической температуры ориентированной кристаллизации оказывают влияние дислокации на границе раздела основной металл — расплав припоя, чистота в отношении оксидов, остаточных газов и внешнее давление. С повышением степени вакуумирования значение критической температуры начала эпитаксии снижается. Образовавшиеся первоначальные связи между твердым паяемым металлом и расплавом припоя получают дальнейшее развитие в результате диффузионных процессов. Если взаимодействующие твердый и жидкий металлы имеют примеси и испытывают воздействие внешней среды, то это вносит свои коррективы в развитие процесса взаимодействия. Если примесь растворима в жидкой фазе и не растворима в твердой, то кристаллизация будет сопровождаться вытеснением примеси в жидкую фазу и образованием у границ кристаллов слоя примеси. Это будет повышать энергию активации, и следовательно, снижать скорость кристаллизации, так как слой расплава с увеличенной концентрацией атомов примеси будет затруднять поступление атомов из жидкой фазы к твердой.

Первую приближенную оценку характера взаимодействия и совместимости основного металла и припоя можно сделать на основе Периодической системы элементов Д. И. Менделеева. На рис. 3 приведены данные, характеризующие направленность взаимодействия железа, меди, никеля, алюминия и магния, нашедших наибольшее распространение в технике, с другими элементами [4].

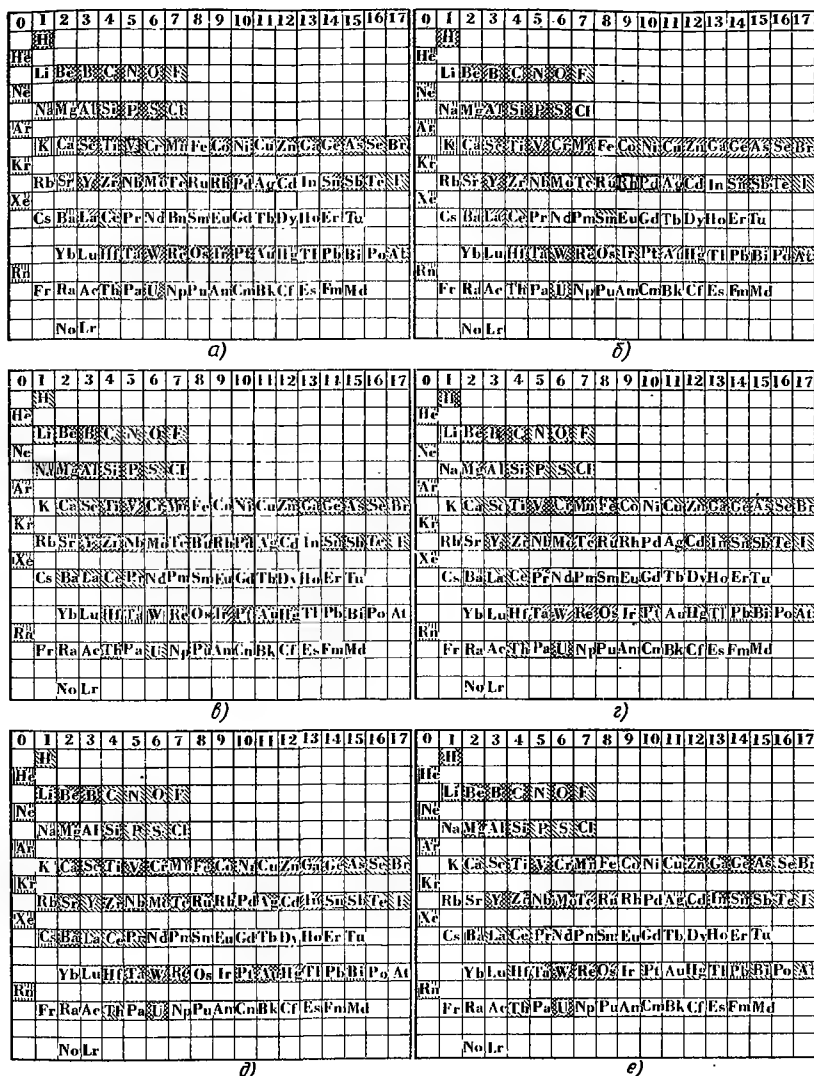


Рис. 3. Взаимодействие α -Fe (а), γ -Fe (б), меди (в), никеля (г), алюминия (д), магния (е) с различными элементами:

1 — образующими непрерывные твердые растворы; 2 — образующими ограниченные твердые растворы; 3 — образующими соединения; 4 — образующими эвтектические смеси; 5 — не взаимодействующими; 6 — неизученные

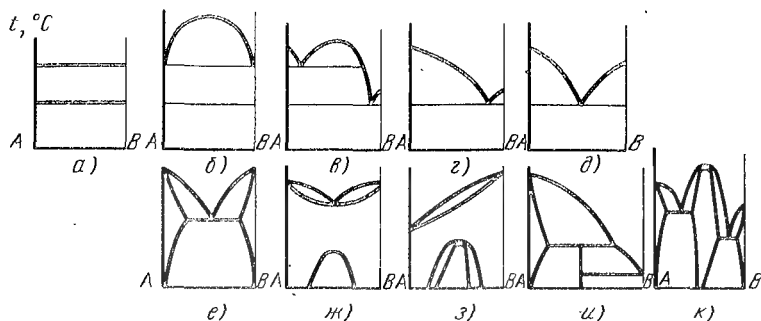


Рис. 4. Типы диаграмм состояния двойных систем сплавов в порядке возрастания химического сродства взаимодействующих элементов A и B

Образование между химическими элементами взаимных систем уже характеризует их принципиальную совместимость.

Прочность связей и другие показатели соединения после кристаллизации претерпевшей изменения жидкой металлической фазы, строение зон спаев, превращения в паяемом металле в результате нагрева и химических реакций характеризуют уровень совместимости в рассматриваемой системе основной металл — припой.

Оценка совместимости основного металла и припоя должна распространяться не только на физико-химические свойства взаимодействующих металлов, но и на способ пайки, условия протекания процессов в зоне пайки и на другие технологические аспекты пайки, ответственные за уровень свойств паяного соединения.

Совместимость между соединяемыми пайкой металлами и основной припоев можно проследить на основе анализа диаграмм состояний.

Результаты такого анализа по данным С. В. Лашко и Н. Ф. Лашко приведены на рис. 4. Если металлы не проявляют химического сродства, то они не образуют между собой сплавов ни в жидком, ни в твердом состоянии (см. рис. 4, $a-d$). Усиление химической связи между металлами приводит к образованию ограниченных или неограниченных твердых растворов (см. рис. 4, $e-a$). При наличии сильной химической связи элементы A и B вступают в неустойчивые химические соединения, которые плавятся с разложением (см. рис. 4, u). Более высокий уровень химической связи приводит к образованию устойчивых химических соединений, плавящихся без разложения (см. рис. 4, k). Обобщенные сведения о физико-химической совместимости металлов, применяемых в пайке, приведены в табл. 6 [5].

6. Экспериментальная и прогнозируемая физико-химическая совместимость (С) или несовместимость (Н) материалов с основой припоев при капиллярной пайке

Материал	Основа припоев									
	Ga	Bi	Sn	Sn—Pb	Sn—Zn	Pb	Cd	Zn	Mg	Al—Si— —Cu
Цинк	(C _{6,4})	(C _{6,3})	C ₆	(C ₆)	(C ₆)	C ₆	C	H ₇	H ₇	H ₇
Магниеые сплавы	(C _{5,3})	(C _{5,3})	H _{5,3}	H _{5,3}	H _{5,3}	H _{5,3}	C ₉	C ₆	C	H _{7,5}
Алюминиеые сплавы:										
АД1	C _{6,4}	C ₈	C _{8,6}	C _{8,6}	C ₈	C ₈	(C _{1,2,4})	C	H ₅	C ₉
АМц	C _{6,4}	C ₈	C _{8,6}	C _{8,6}	C ₈	C ₈	(C _{1,2,4})	C	H ₅	(C ₉)
АМг2	(C _{6,4})	(C ₈)	C ₈	C ₈	C ₈	C ₈	(C _{1,2,4})	C	H ₅	(C ₉)
АМг6	(C _{4,6})	(C ₈)	(C ₈)	(C ₈)	(C ₈)	(C ₈)	(C _{2,4})	C	H ₅	(C ₉)
АВ	(C _{4,6})	(C ₈)	(C _{8,6})	(C _{8,6})	(C ₈)	(C ₈)	(C _{2,4})	(C)	H ₅	(H ₇)
Д20	(C _{4,6})	(C ₈)	(C _{8,6})	(C _{8,6})	(C ₈)	(C ₈)	(C _{2,4})	(C)	H ₅	(C ₄)
Серебро	(C ₅)	(C ₈)	(C _{5,3})	(C _{5,3})	(C _{5,3})	(C _{5,3})	(C _{5,3})	(C _{5,3})	(H ₅)	(C ₅)
Золото	(C ₅)	(C _{5,3})	C _{5,3}	C _{5,3}	(C _{5,3})	(C ₅)	(C ₅)	(C ₅)	(H ₅)	(C ₅)
Медь М1	C ₅	(C ₆)	C ₅	C ₅	C _{5,3}	C _{2,6}	C ₅	C ₅	H _{5,3}	H ₅
Латунь Л63	(C ₅)	(C ₆)	C ₅	C	(C)	C ₂	C _{5,3}	(C ₅)	H ₅	H ₅
Оловянная бронза (Cu—20%; Sn—остальное)	(C ₅)	(C ₆)	C ₅	C	(C)	C ₂	C _{5,3}	(C ₅)	H ₅	H ₅
Титановые сплавы:										
BT1	(C ₅)	(C ₅)	C ₅	(C ₅)	(C ₅)	(C ₅)	(C ₅)	(C ₅)	(C)	C
OT4	(C ₅)	(C ₅)	C ₅	(C ₅)	(C ₅)	(C ₅)	(C ₅)	(C ₅)	(C)	C
BT14	(C ₅)	(C ₅)	(C ₅)	(C ₅)	(C ₅)	(C ₅)	(C _{5,3})	(C ₅)	(C)	(C)
Сталь:										
08кп	(C)	(C _{1,2,6})	(C _{2,6})	(C _{5,6})	(C ₅)	(C _{1,6})	(C ₂)	(H ₅)	(C ₂)	C ₅
10	(C)	(C _{1,2,6})	(C _{2,6})	(C _{5,6})	(C ₅)	(C _{1,6})	(C ₂)	(H ₅)	(C ₂)	C ₅
45	(C)	(C _{1,2,6})	(C _{2,6})	(C _{5,6})	(C ₅)	(C _{1,6})	(C ₃)	(H ₅)	(C ₃)	C ₅
12X18H10T	(C)	(C _{1,2,6})	(C _{2,6})	(C _{5,6})	(C ₅)	(C _{1,6})	(C ₂)	(H ₅)	(C ₂)	C ₅
08X13	(C)	(C _{1,2,6})	(C _{2,6})	(C _{5,6})	(C ₅)	(C _{1,6})	(C _{1,2})	H ₅	H ₅	C ₅
Никелевые сплавы	(C ₅)	C _{3,5}	(C ₅)	(C ₅)	(C ₅)	(C _{1,2})	(C ₅)	(C ₅)	H ₅	—

Материал	Основа припоев											
	Al—Si	Ag	Au	Cu	Cu—P	Cu—Zr	Cu—Sn	Cu—Ni— —Mn	Mn	Ni	Ti	Fe—Mn
Цинк	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇
Магниеые сплавы	H _{5,7}	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇
Алюминиевые сплавы:												
АД1	C	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇
АМц	C	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇
АМг2	C	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇
АМг6	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇
AB	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇
Д20	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇
Серебро	H ₅	(C)	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇
Золото	(C ₅)	C	C	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇
Медь М1	H ₅	C	C	H ₇	C	C	C	(C ₅)	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇
Латунь Л63	H ₅	C	(C)	H ₇	C	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇
Оловянная бронза	H ₅	C	(C)	H ₇	C	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇	H ₇
(Cu—20%; Sn—остальное)												
Титановые сплавы:												
BT1	C	C ₅	(C ₅)	C ₅	(C ₅)	(C ₅)	(C ₅)	—	H ₇	(C ₅)	C	(H ₇)
OT4	C	C ₅	(C ₅)	C ₅	(C ₅)	(C ₅)	(C ₅)	—	H ₇	(C ₅)	C	H ₇
BT14	(C)	(C ₅)	(C _{5,3})	C ₅	(C ₅)	(C ₅)	(C ₅)	—	H ₇	(C ₅)	C	H ₇
Сталь:												
08кп	C ₅	C ₂	(C)	C	H ₅	C _{4,6}	(C ₅)	C	(C)	(C)	H _{7,5}	C
10	C ₅	C ₂	(C)	C	H ₅	C _{4,6}	(C ₅)	C	(C)	(C)	H _{7,5}	C
45	C ₅	C _{4,2}	(C)	C	H ₅	C _{4,6}	(C ₅)	C	(C)	(C)	H _{7,5}	C
12X18H10T	C ₅	C _{9,6,2}	(C)	(C)	H ₅	C _{4,6}	C ₆	C	C _{3,9}	C	H ₅	(C)
08X13	C ₅	C _{5,9}	(C)	C	H ₅	C _{4,6}	C ₆	C	C _{5,9}	C	H ₅	(C)
Никелевые сплавы	(C _{1,2})	(C)	(C)	(C)	(C)	(C)	(C)	(C)	(C)	C	H ₅	(C)

1 — смачиваемость адгезионная; 2 — плохое смачивание и затекание в зазор; 3 — общая химическая эрозия; 4 — межзеренная химическая эрозия; 5 — прослойки химических соединений; 6 — охрупчивание в контакте с жидким припоем; 7 — температура пайки выше температуры солидуса основного металла; 8 — щелевая коррозия; 9 — пониженная коррозионная стойкость, последующее охрупчивание в результате упорядочения твердого раствора.

Примечание. В тех случаях, когда указанная в таблице совместимость приведена как прогнозируемая, соответствующее ее значение поставлено в скобки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брюэр Л. Термодинамическая устойчивость и природа связи в зависимости от электронной структуры и кристаллического строения//Электронная структура переходных металлов и химия их сплавов. М.: Металлургия, 1966. С. 211—224.
2. Монокристаллические пленки/Под ред. З. Г. Пинксер. М.: Мир, 1966. С. 15—103.
3. Лившиц Л. С., Хакимов А. Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. М.: Машиностроение, 1989. С. 4—12.
4. Петрунин И. Е. Физико-химические процессы при пайке. М.: Высшая школа, 1962. 290 с.
5. Лашко С. В., Лашко Н. Ф. Пайка металлов. М.: Машиностроение, 1988. 257 с.
6. Петрунин И. Е., Лоцманов С. Н., Николаев Г. А. Пайка металлов. М.: Металлургия, 1973. 281 с.
7. Петрунин И. Е., Маркова И. Ю., Екатова А. С. Металловедение пайки. М.: Металлургия, 1976. 263 с.

Припои изготавливаются в виде полос, фольги, проволоки, прутков, отливок, порошка. Композиционные припои изготавливаются из смеси тугоплавких и легкоплавких порошков (компонентов), что позволяет производить пайку изделий с большими зазорами и повышать механические свойства паяных соединений.

МЕДНЫЕ ПРИПОИ

Наиболее широкое применение получили медные припои. Медь марок М0, М1, М2 применяется для пайки углеродистой и многих легированных сталей, никеля и его сплавов. Основой медных припоев являются системы Cu—Zn , Cu—Ni , Cu—P , Cu—Mn—Ni .

Для пайки в вакууме применяется медь в виде фольги, проволоки, прутков, лент, а также наносится напылением или электролитическим слоем 5—15 мкм. Она хорошо растекается по поверхности и проникает в узкие зазоры, образуя прочные и пластичные соединения. Недостатком меди как припоя является возникновение в соединениях, выполненных кислотосодержащей медью (М1, М2 и др.), газовых пор и трещин при пайке в окислительной среде (вследствие образования эвтектики $\text{Cu—Cu}_2\text{O}$) [1]. Химический состав меди различных марок приведен в табл. 1.

Медно-цинковые припои представляют собой двойные сплавы меди и цинка в различных соотношениях.

Наибольший интерес представляют сплавы, содержащие менее 39% Zn и имеющие однофазную структуру (α -твердый раствор). С увеличением содержания цинка в припое его пластичность значительно снижается.

Недостатком медно-цинковых припоев является сильное испарение цинка при пайке, что приводит к повышению температуры плавления припоя и к образованию пористости в паяном шве. Для снижения температуры плавления и повышения технологических свойств в их состав вводят в небольших количествах олово и кремний (до 1%). Добавка олова снижает температуры плавления припоя и увеличивает его жидкотекучесть; кремний резко снижает испарение цинка. Составы и физико-механические свойства медно-цинковых припоев приведены в табл. 2 и 3.

Латуни Л63 и Л68 используются при пайке углеродистых сталей и меди. Изделия из серого чугуна паяют МЦН 48-10, ЛК 62-05 и ЛКН 56-03-6.

1. Химический состав меди

Марка меди	Содержание меди, %, не менее	Содержание примесей, %, не более										Всего примесей, %
		Bi	Sb	As	Fe	Ni	Pb	Sn	S	O	Zn	
М0 *1	99,95	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,004	0,002	0,004	0,02	0,004	0,05
М1 *2	99,90	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,005	0,005	0,1
М2	99,70	0,002	0,005	0,01	0,05	0,2	0,01	0,05	0,01	0,07	—	0,3
М3	99,50	0,003	0,05	0,01	0,05	0,2	0,05	0,05	0,01	0,08	—	0,5
М4	99,0	0,005	0,2	0,2	0,1	—	0,3	—	0,02	0,15	—	1,0

*1 Содержит 0,002% Р и 0,003% Ag.

*2 Содержит 0,003% Ag.

Припой на медной основе, содержащие кроме цинка небольшое количество олова и кремния, имеют лучшие технологические свойства и обеспечивают более высокую плотность и герметичность шва. К этим припоям относят латуни марок ЛОК 62-06-04 и ЛОК 59-1-03.

Прочность паяных соединений, выполненных медно-цинковыми припоями, повышают введением в их состав железа, марганца и кремния. Медно-цинковыми припоями паяют углеродистые стали и медь при нагреве ТВЧ, в печах, пламенем газовой горелки и в соляных ваннах с использованием в качестве флюса буры, ПВ200, ПВ209, ПВ201. Вследствие испарения цинка пайку медно-цинковыми припоями в газообразных защитных средах и в вакууме не проводят. Также не проводится пайка ими (за исключением припоя ВПр31) коррозионно-стойких и кислотостойких сталей из-за образования трещин (эффект Рибиндедера) [2].

Припой ВПр31 (см. табл. 2) содержит 0,75—0,95% Si и 0,1—0,3% В, которые за счет образования силицидов и боридов железа по границам зерен основного металла блокируют распространение в нем трещин.

Медно-никелевые припои.

Медь с никелем образует ряд твердых растворов (рис. 1).

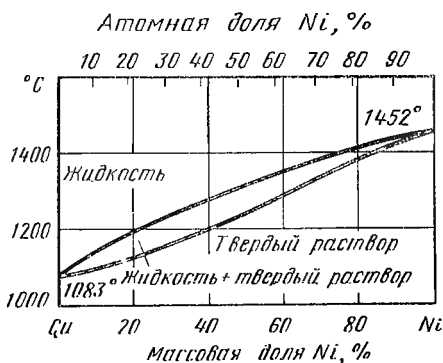


Рис. 1. Диаграмма состояния сплавов системы медь—никель

2. Химический состав и температура плавления медно-цинковых припоев

Марка припоя	Химический состав, % (Zn → остальное)							Температура, °C	
	Cu	Sn	Si	Ni	Прочие	Примеси, не более		начала плавления	полного расплавления
						Fe	Pb		
ПМЦ36	34—38	—	—	—	—	0,1	0,5	800	825
ПМЦ58-5	57—60	—	—	—	—	0,5—1,0	1,0	—	850
ПМЦ48	46—50	—	—	—	—	0,1	0,5	850	865
ЛК62-05	60,5—63,5	—	0,7—0,7	—	—	0,2	0,08	—	905
ПМЦ54	52—56	—	—	—	—	0,1	0,5	876	880
ЛНМц56-5-5	54—59	—	—	3,5—5,5	3,5—5,5 Мп	5—1,0	0,1	—	900
ЛОК62-06-04	60,5—63,5	0,4—0,6	0,3—0,4	—	—	0,2	0,1	900	905
ЛОК59-1-03	58—60	0,7—1,1	0,2—0,4	—	—	0,1	0,08	—	905
Л63	60,5—63,5	—	—	—	—	0,15	0,08	900	905
Л68	67—70	—	—	—	—	0,1	0,03	910	940
ГФК	62—71	—	—	4—5	5—6 Мп	—	—	935	953
Л62П	57—60	—	—	4—5	—	—	—	—	910
КМФ	58—60	—	—	8—9	—	—	—	—	910
МЦН48-10	46—50	—	—	9—10	—	—	—	—	935
ЛКН56-03-6	55—57,5	—	0,25—0,3	5,5—6,0	—	—	—	—	905
ВПр31 *	27,8—41,4	3,5—5,0	—	17,0—19,0	3,5—5,0 Мп	—	—	—	1000

* Содержит, %: 0,75—0,95 Si, 2,5—3,0 Сг, 0,5—3,0 Со, 0,01—0,04 Р, 0,1—0,3 В.

3. Физико-механические свойства медно-цинковых припоев

Марка припоя	γ , кг/м ³	$\alpha \cdot 10^6$, °C ⁻¹	ρ , Ом·мм ² /м	σ_B , МПа	δ , %	НВ
ПМЦ36	7700	22	10,3	—	—	—
ПМЦ48	8200	21	4,5	205,8	3	130
ПМЦ54	8300	21	4,0	353	20	128
Л63	8500	20	7,1	322	35,5	56
Л68	8600	19	7,1	275	48,0	56
ЛОК62-06-04	8500	—	—	343	—	—

4. Химический состав и температура плавления медных припоев с никелем, марганцем и серебром

Марка припоя	Содержание элементов, % (Cu — остальное)					Температура, °C	
	Mn	Ni	Si	Fe	Другие элементы	начала плавления	полного расплавления
ПМЗ8МЛ	36—40	4—6	1,5—2,5	—	≤0,2 Li 0,1 B	880	900
ВПр1	—	27—30	1,5—2,0	до 1,5	0,1—0,3 B	1080	1120
ВПр2	22—26	5—6	—	0,8—1,2	0,15—0,25 Li	960	980
ВПр4	27—30	28—30	0,8—1,2	1,0—1,5	4—6 Co 0,15—0,3 Li 0,15—0,25 B 0,01—0,2 K 0,05—0,15 Na	940	980
ВПр13	20—23	10—13	0,2—0,4	—	0,1—0,2 P 0,5—2,0 Zn 0,1—0,3 B 21—25 Ag 0,1—0,3 P	850	910
45А	30	5	—	—	3 Zn	880	900
КП	—	19—20	4,5—5	5—6	—	950	970
ПЖ45-81	2,0—3,0	30—35	1,5—2,0	2,5—3,0	2,5—3,5 Cr	1120	1200
ПМН10	—	10	—	—	2—3 Cr	1110	1140
ГПФ	4,2—5,0	10—14	1—1,8	12—14	—	1190	1280

Для увеличения жаропрочности, коррозионной стойкости при нормальных и повышенных температурах в медно-никелевые припои вводят хром, марганец, железо, кремний. Пайку коррозионно-стойких сталей типа 12Х18Н10Т и других кислотостойких сталей в среде защитных газов и в вакууме проводят припоями ВПр1, ВПр2, ВПр4, ВПр13 и ПЖ45-81 (табл. 4 и 5).

При пайке этими припоями не происходит заметного растворения, что позволяет применять их для тонкостенных изделий [4].

Медно-фосфорные припои. Сплавы меди с фосфором (4—9%) обладают высокой жидкотекучестью и коррозионной стойкостью и имеют сравнительно низкую температуру плавления, их применяют как заменители серебряных и медно-цинковых припоев при пайке меди и ее сплавов (табл. 6).

Медно-фосфорные припои обладают самофлюсующими свойствами и позволяют проводить пайку меди и некоторых ее сплавов без применения флюсов. При пайке латуни Л63, нейзильбера, алюминиевой бронзы и медно-никелевых сплавов медно-фосфорными припоями необходимо применять боросодержащие флюсы. Медно-фосфорные припои для пайки чугуна и сталей не применя-

5. Механические свойства паяных соединений (внахлестку), выполненных медно-никелевыми припоями

Марка припоя	Флюс или газовая среда	Метод нагрева	Паяемый материал	$\tau_{\text{ср.}}$ МПа, при температуре, °C					Усталостная прочность, МПа, на базе $N=10^7$ циклов при температуре, °C	
				-60	20	200	400	600	20	500
ВПр1	ПВ200, ПВ201	В пламени горелки	12Х18Н10Т	471,0—568,8	363,0—490,0	294—392,3	186,2—215,6	88,25—156,8	245,0	196,0
ВПр2	Аргон	В печи	12Х18Н10Т	254,8—274,4	245,0—294,0	—	—	—	—	—
			Х15Н9Ю	245,0—294,0	205,8—294,0	196—294	186,2—235	117,6—137,2	190,12	269,5
			Х15Н5АМЗ	186,0—294,0	205,8—245,0	186,2—225,4	205,8—245,0	—	215,6	240,0
ПМ38МЛ			12Х18Н10Т	—	205,8—294,0	—	—	—	—	—
			Сталь 10	—	166,6—196,0	—	—	—	—	—
Медь (М1)	Водород ПВ201	В пламени горелки	12Х18Н10Т	—	406,6—441,2	—	—	176,5—186,2	196,0	166,6
ПЖ45-81	ПВ201		Х20Н80	—	578,5—597,8	—	—	274,4—294,0	—	—
ВПр4	Аргон	В печи	12Х18Н10Т	441,2—509,6	323,4—392,3	284,2—323,4	254,8—303,8	127,5—176,6	—	—

6. Химический состав и температура плавления сплавов меди с фосфором

Марка сплава	Содержание Р, % (Си — остальное)	Примеси, %, не более			Температура, °С	
		Вl	Sb	Всего примесей	начала плавления	полного расплавления
МФ1	8,5—10	0,002	0,002	0,4	714	850
МФ2				0,8		
МФ3		0,005	0,1	1,0		

7. Химический состав и температура плавления медно-фосфорных припоев

Марка припоя	Содержание элементов, %, (Си — остальное)			Примеси, %, не более		Температура, °С	
	Р	Zn	Sn			начала плавления	полного расплавления
				Вl	Sb		
ПФ07 (МФОЦ7-3-2)	5—7	1—3	2,5—3,5	0,05	0,1	680	700
ПМФ7 (МФ3)	7,0—8,5	—	—	—	—	714	850
ПМФ9	9	—	—	—	—	707	800

8. Прочность паяных соединений (медь + медь и латунь + латунь), выполненных медно-фосфорными припоями

Марка припоя	σ _в , МПа		τ _{ар} , МПа		
	Медь + медь	Латунь + латунь	Медь + медь		
			При температуре, °С		
			20	—70	200
ПМФ7 (МФ3)	123,5	137,2	—	—	—
ПМФ9	117,6	129,4	—	—	—
ПФ00	147—	166,6—	186,2—	147—	137,2—
(ПФОЦ7-3-2)	186,2	205,8	215,6	196	147

Продолжение табл. 8

Марка припоя	$\tau_{\text{ср}}$, МПа		
	Латунь + латунь		
	При температуре, °C		
	20	—70	200
ПМФ7 (МФ3)	—	—	—
ПМФ9	—	—	—
ПФ00	313,6—	166—	189—
(ПФОЦ7-3-2)	333,2	205,8	205,8

9. Химический состав и температура пайки медно-фосфорными припоями с серебром

Марка припоя	Содержание элементов, %				Температура пайки, °C
	Cu	P	Ag	Ni	
ПСрФ2-5	90—93	5	2—5	—	800—820
—	85	5	10	—	730
ПСрФ15-5	80	—	15	—	820
—	75	7	18	—	750
ПСр25Ф	70	5	25	—	750
—	80	2	—	18	—

ются из-за образования хрупких фосфидов железа в паяном шве, что приводит к потере пластичности и охрупчиванию соединения. Барьерные покрытия на паяемых поверхностях (никелирование, меднение) частично препятствуют образованию хрупких фосфидных прослоек и позволяют получать пластичные соединения [3].

Введение в сплав медь—фосфор олова и цинка снижает температуру плавления и повышает пластичность (табл. 7 и 8).

Технологические свойства этих припоев повышают введением в их состав сурьмы, никеля, серебра. Эти припои нашли широкое применение в электротехнической промышленности.

Медно-фосфорные припои с серебром (табл. 9) более пластичные и легкоплавкие, их применяют для пайки изделий из меди с закрытыми соединениями, где удаление флюса произвести невозможно. Недостатком этих припоев является способность их к ликвации и образованию ликвационной пористости в паяном шве. Припои требуют быстрого нагрева.

СЕРЕБРЯНЫЕ И ПАЛЛАДИЕВЫЕ ПРИПОИ

Припои, содержащие серебро, обладают повышенной тепло- и электропроводностью, высокой пластичностью, прочностью, коррозионной стойкостью и технологичностью, позволяют проводить нагрев различными способами в различных средах. В промышленности широко применяются серебряные припои с содержанием меди, цинка, кадмия, олова, фосфора и других элементов (табл. 10, 11, 12). Особенно широкое применение получили припои ПСр 72—сплав эвтектического состава и ПСр 40, обладающие высокой технологичностью. Введение в серебряные припои лития улучшает смачиваемость паяемой поверхности и придает им свойства самоплюсования [6]. Наиболее широко применяется для пайки в печах с вакуумом и с защитной атмосферой тонкостенных конструкций припой ПСр92, который, смачивая сталь, не проникает по

10. Химический состав многокомпонентных серебряных припоев

Марка припоя	Содержание элементов, %			
	Ag	Cu	Zn	P
ПСр 50	49,5—50,5	Остальное	—	—
ПСр 71	70,5—71,5		—	0,8—1,2
ПСр 25Ф	24,5—25,5		—	4,5—5,5
ПСр 15	14,5—15,5		—	4,5—5,1
ПСр 50Кд	49,5—50,5	15,0—17,0	15,0—17,0	—
ПСр 45	44,5—45,5	29,5—30,5	Остальное	—
ПСр 40	39,0—41,0	16,0—17,4	16,2—17,8	—
ПСр 37,5	37,0—38,0	Остальное	5,0—6,0	—
ПСр 62	61,5—62,5	27,0—29,0	—	—
ПСр 72	71,5—72,5	Остальное	—	—
ПСр 92	91—93	7,6—7,8	—	0,2—0,42

Марка припоя	Содержание элементов, %				Примеси, % и более
	Cd	Sn	Mn	Ni	
ПСр 50	—	—	—	—	0,15
ПСр 71	—	—	—	—	0,15
ПСр 25Ф	—	—	—	—	0,15
ПСр 15	—	—	—	—	0,30
ПСр 50Кд	Остальное	—	—	—	0,20
ПСр 45	—	—	—	—	0,30
ПСр 40	Остальное	—	—	0,1—0,5	0,30
ПСр 37,5	—	—	7,9—8,5	—	0,30
ПСр 62	—	Остальное	—	—	0,15
ПСр 72	—	—	—	—	0,15
ПСр 92	—	—	—	—	0,15

11. Физические свойства серебряных припоев

Марка припоя	γ , кг/м ³	Температура, °C		$\rho \cdot 10^3$, Ом · м
		начала плавления	полного расплавления	
ПСр 50	9 300	779	860	2,5
ПСр 71	9 800	645	795	4,3
ПСр 25Ф	8 300	645	725	18,6
ПСр 15	8 500	640	810	20,7
ПСр 50Кд	9 250	625	640	7,8
ПСр 45	9 100	665	730	10,0
ПСр 40	9 250	590	610	7,0
ПСр 37,5	8 900	725	810	37,2
ПСр 62	9 600	650	723	25,5
ПСр 72	10 000	779	779	—
ПСр 92	—	—	820	—

границе зерен, вследствие чего не снижает механические свойства термически обработанных высокопрочных коррозионно-стойких сталей ($\sigma_{\text{в}} > 980 \cdot 10^6$ Па). Однако припой ПСр92 в своем составе содержит большое количество серебра (92%), что повышает его стоимость, поэтому его заменяют припоем ВПр13 с содержанием серебра 21—25%.

Серебряные припои с медью (рис. 2), оловом, палладием обладают сравнительно низким давлением пара, вследствие чего их применяют для пайки вакуумных приборов, изготавливаемых из меди и стали. Введение большого количества олова снижает температуру начала плавления припоя, позволяет паять разнородные материалы, имеющие разные тепловые коэффициенты линейного расширения (ТКЛР) без образования трещин и больших остаточных напряжений. Кадмий и цинк сильно снижают температуру плавления и повышают жидкотекучесть припоев.

Палладий, золото, вводимые в серебряные припои в качестве компонентов, значительно повышают их коррозионную стой-

12. Химический состав и температура плавления серебряных припоев с палладием

Содержание элементов, %			Температура полного рас- плавления, °C	Содержание элементов, %			Температура полного рас- плавления, °C
Pd	Cu	Ag		Pd	Cu	Ag	
10	—	90	1065	87	—	13	1500
16	84	—	1100	30	70	—	1119
20	—	80	1153	40	60	—	1149
40	—	60	1293	63	37	—	1243
70	—	30	1443	—	—	—	—
80	—	20	1486	81	19	—	1352

кость, пластичность, электропроводность, теплопроводность, а также способствуют растеканию их по паяемой поверхности.

Золото и палладий с серебром, медью, никелем образуют ряд твердых растворов, поэтому припой, содержащие их, имеют высокую пластичность паяных соединений.

Припой с палладием применяют для пайки сплавов никеля, золота, молибдена, циркония, титана, вольфрама, жаростойких сталей (табл. 13). Добавки палладия в припой снижают их способность проникать в паяемый металл и разводить его, что позволяет проводить пайку тонкостенных изделий. В качестве припоев применяют как двойные сплавы системы серебро—палладий, так и многокомпонентные припои, в состав которых входят серебро, медь, никель, марганец и другие металлы [4]. Палладий с серебром, медью образует ряд твердых растворов. Введение в состав припоев никеля, кремния повышает жаропрочность припоя и позволяет паять высоколегированные стали, хромоникелевые сплавы, работающие при повышенных температурах (до 750 °C).

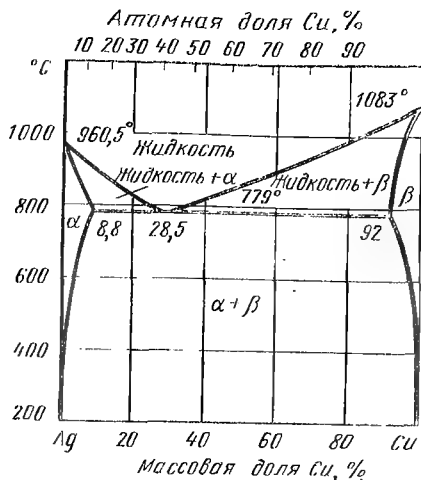


Рис. 2. Диаграмма состояния сплавов медь—серебро

13. Химический состав и температура плавления многокомпонентных припоев с палладием

Содержание элементов, %					Температура, °C	
Pd	Ni	Sn	Si	Прочие элементы	начала плавления	полного расплавления
20	30	45	5	—	1000	1015
20	49	24	7	—	1010	1032
20	51	24	5	—	1005	1025
20	45	30		—	1038	1088
10	58	27		—	1045	1082
30	45	20		—	1077	1182
60	40	—	—	—	1237	1237
97	—	—	—	3 В	—	—
93	—	—	—	7 Al	1050	1100
66,5	28,8	1,2	—	3,5 Li	—	—
77,5	20,0	1,0	—	1,5 Li	—	—
2,2	84,0	7,5	5,5	0,8 Li	—	—

ЗОЛОТЫЕ И ПЛАТИНОВЫЕ ПРИПОИ

Золотые припои обладают пластичностью, коррозионной стойкостью, теплопроводностью и рядом других положительных свойств, однако из-за высокой их стоимости используются только там, где это оправдано (пайка вакуумных приборов, электроконтакты и т. д.). Золото с серебром, медью и рядом других металлов образует ряд твердых растворов. Сплавы золота с германием при содержании 12% Ge и 6% Si пластичны и плавятся соответственно при температурах 360 и 370 °C.

Для пайки золотых изделий применяют припой с содержанием, %: Au 46; Sb 32; Zn 18; Si 3; Ni 1. Он имеет сравнительно низкую температуру плавления (590 °C), хорошо растекается и не

14. Химический состав и температура плавления золотых припоев с медью

Содержание элементов, %		Температура, °C		
Au	Cu	начала плавления	полного расплавления	пайки
94	6	950	980	1030
80	20	889	889	890—1010
50	50	928	950	980—1000
37,25—37,75	62,25—62,75	950	990	990—1090
40	60	946	985	1035
37,5	62,5	—	970	990
35	65	970	1010	1040
30	70	990	1020	1060

15. Химический состав и температура плавления золотых припоев с палладием и индием

Содержание элементов, %						Температура, °C	
Au	Ag	Cu	Pd	Cd	In	начала плавления	полного расплавления
38	20	20	3	18	1	630	695
48	16	20	5	10		700	800
65	2	13	5	14		720	795
55	10	12	8	14		750	835
70	6	10	5	8		780	885
55	11	15	10	8	2	830	900
55	12	15	10	6		825	910
70	10	5	5	9		790	925
70	—	25	5	—		940	967
51	—	34	15	—		1000	1030

16. Химический состав многокомпонентных золотых припоев

Содержание элементов, % (Ag — остальное)						Температура пайки, °C
Au	Pd	Cu	Zn	Ni	Mn	
45—48,3	4—6	5—7,5	1—2	—	—	950—1000
55—58,3	8—10	2—3	1,0	0,1—0,3	0,1	1100—1130
75	8,0	7,5	2,0	—	—	—
75	8,0	6,5—7,5	—	—	—	1100—1130
45—48,8	8,0	3—5	1,0	0,1—0,3	0,1	1030—1070
72	—	—	—	22	—	975—1000
80	—	20	—	—	—	630

17. Химический состав и температура плавления платиновых припоев

Марка припоя	Содержание элементов, %						Температура, °C	
	Pt	Ir	Rh	Cu	Другие элементы, не более	Примеси, не более	начала плавления	полного расплавления
Пл99,93	99,93	—	—	—	0,15 Pd	0,07	1769	1769
ПлИ-5	94,7—95,3	4,7—5,3	—	—	0,15 Pd		1765	1772
ПлИ-10	89,7—90,3	9,7—10,3	—	—	0,15 In		1780	1795
ПлИ-15	84,5—85,5	14,5—15,5	—	—			—	1800
ПлИ-15	84,6—85,4	14,6—15,4	—	—			1800	1830
ПлИ-17,5	82,1—82,9	17,1—17,9	—	—			1807	1837
ПлПд-20	79,5—80,5	—	—	—	0,15 Pd	0,25	—	1830
ПлИ-20	79,5—80,5	19,5—20,5	—	—			1815	1845
ПлИ-25	74,5—75,5	24,5—25,5	—	—			1840	1875
ПлИ-30	69,5—70,5	29,5—30,5	—	—			1920	1950
ПлРд-10	89,7—90,3	—	9,7—10,3	—	—	0,22	1845	1855
ПлРд-20	79,6—80,4	—	19,6—20,4	—	—	0,23	1895	1905
ПлРд-40	59,5—60,5	—	39,5—40,5	—	—		1940	1950
ПлМ-2,5	97,2—97,8	—	—	2,2—2,8	0,20 Pd		1750	1760
ПлМ-8,5	91,1—91,9	—	—	8,1—8,9	0,20 Pd	0,25	1690	1720
ПлН-4,5	95,1—95,9	—	—	—	4,1—4,9 Ni		1720	1750
Pt-Ag	70,0	—	—	—	30 Ag		1185	1560
Pt-Au	30,0	—	—	—	70 Au	0,23	1200	1440

разъедает паяемый металл. Припой с более высокой температурой плавления (740 °С) ЗЛСрМ-583-80 содержит, %: Au 58; Ag 13—14; Cd 10; Zn 5—6; Cu — остальное. В отдельных случаях для монтажной пайки высокопрочных коррозионно-стойких сталей применяют золотые припои с никелем. Минимальная температура плавления этих сплавов (при 17,5% Ni) 950 °С. Сплавы золота с никелем, хромом получили широкое применение в ракетостроении для пайки изделий, работающих при повышенных температурах там, где от паяных соединений требуются высокие механические и жаропрочные свойства (табл. 14, 15, 16). Платиновые припои обладают хорошей способностью смачивать паяемые поверхности изделий из металлических материалов и высокой сопротивляемостью к окислению. В качестве припоев применяются сплавы платины с золотом, иридием, радием, медью, никелем и другими металлами (табл. 17).

НИКЕЛЕВЫЕ ПРИПОИ

Никелевые припои применяются для пайки в печах с защитной атмосферой коррозионно-стойких, жаропрочных сталей и сплавов. Наибольшее применение получили никелевые припои с хромом, медью, кремнием, марганцем, бором, фосфором. Никелевые припои с бором (1—10%) — хрупкие и применяются в виде порошков, паст и литых прутков. Пасты изготавливаются путем перемешивания порошка припоя с 10%-ным раствором акриловой смолы БМК-5 в растворителе Р-5.

Наиболее широкое применение получили порошковые никелевые припои ВПр11 и ВПр11-40Н (табл. 18) при пайке сталей и никелевых сплавов в печах с защитной атмосферой и в вакууме. В состав припоя ВПр11-40Н входит 60% порошка припоя ВПр11 и 40% наполнителя (порошок состава 1,8—2,2% Si, 0,6—1,2% В, никель — остальное), имеющего более высокую температуру плавления (1150—1380 °С), чем у припоя ВПр11.

Припой ВПр11-40Н позволяет проводить пайку изделий с зазором до 1,5 мм, что расширяет его область применения. Марганец, медь, кремний, бор снижают температуру плавления никелевых припоев и повышают растекаемость. Недостатком никелевых припоев с бором является растворение паяемого металла, что ограничивает их применение для тонкостенных конструкций.

ЖЕЛЕЗНЫЕ И МАРГАНЦЕВЫЕ ПРИПОИ

Припои на основе железа в практике пайки применялись сравнительно редко. Объяснялось это тем, что, несмотря на низкую стоимость, не удавалось получить пластичные припои. Положение изменилось, когда были разработаны высокопрочные при-

18. Химический состав и температура плавления никелевых припоев с марганцем, молибденом, кремнием и другими элементами

Содержание элементов, % (Ni — остальное)					Температура, °C	
Cr	Fe	Si	Mn	Mo	начала плавления	полного расплавления
—	2	14	0,2	24	1115	1160
—	0,6	10	0,07	17	—	1160
—	—	8	4	17	1050	1150
5	—	10	—	16	1140	1190
—	—	0,8—1,2 *4	32—35	10—11 Co	1120	1150
13	—	8	—	15	1040	1190
—	—	5	17	15	980	1010
—	—	5	22	15	965	1000
—	—	5	20	9	1040	1090
10	—	5	13	9	1150	1190
—	—	—	20	—	1250	1280
6—12	—	0,5—1,5	20—30	0,5—0,7	—	1140
8—10	—	—	27—30	—	1120	1150
20	—	10	10	—	—	—
14—16 *1	3—5	4—5	—	—	980	1050
16 *2	1	1	24	—	—	—
15	8	4	21	—	—	—
19	—	10	10	0,06	—	—
—	—	—	31 *3	—	—	1120
10—30	—	0,5—2	20—30	0,3 B	950	1070

*1 Припой марки ВПр11 содержит также 0,3—1,0% С, 1,8—3,2 В, 0,1—1,0% Al.

*2 Содержит также 0,1% С.

*3 Содержит также 21% Pd.

*4 Припой марки ВПр7 содержит также 2,0—2,5% Nb, 0,01—0,1% Li, 0,01—0,15% K, 0,01—0,1% Na.

пой на железомарганцевой основе для капиллярной пайки с большими зазорами (табл. 19). Наиболее эффективная область применения этих припоев и в первую очередь припоя П-87 наметилась в производстве крупногабаритных металлоконструкций [8]. Припой на основе марганца обладают высокой жидкотекучестью и пластичностью. Их применяют для пайки коррозионно-стойких сталей, инконеля, нихрома и других жаропрочных сплавов.

АЛЮМИНИЕВЫЕ И МАГНИЕВЫЕ ПРИПОИ

В припой на алюминиевой основе (для пайки алюминиевых сплавов) входят кремний, серебро, медь, цинк, кадмий и некоторые другие металлы (табл. 20). Более высокой коррозионной стойкостью обладают припой с кремнием (4—13%). Припой системы Al—Si имеют температуру плавления 525—577 °C и применяются

19. Химический состав и температура плавления припоев на железной основе

Марка припоя	Химический состав, % (Fe — остальное)								Температура, °C		γ , г/см ³
	Mn	Ni	Cu	Si	C	B	Cr	S и P	начала плавления	полного расплавления	
П-49	14,5—16,0	4,2—4,7	4,5—5,0	0,1—0,4	0,8—1,0	0,1—0,4	0,1—0,4	≤0,08	1070	1100	—
П-80	30,0—31,5	13,0—13,5	9,0—10,5	0,05—0,2	≤0,1	0,05—0,1	—	≤0,04	—	1180	7,45
П-87	31,0—32,5	12,0—12,5	11,5—13,0	2,4—3,0	0,3—0,4	0,05—0,1	—	≤0,08	1060	1030	7,45
П-100	63,5—65,0	4,0—4,5	4,5—5,0	—	≤0,1	—	6,0—6,5	≤0,04	1120	1140	7,40

20. Химический состав и температура плавления алюминиевых припоев

Припой	Содержание элементов, % (Al — остальное)									Температура, °C	
	Zn	Cu	Si	Cd	Pb	Ag	Mn	Ga	Примеси, %, не более	начала плавления	полного расплавления
Германиевый № 1	—	—	4,5	—	—	—	—	31,5	0,5	460	480
Германиевый № 2	—	—	5,5	—	—	—	1,5	28,0	0,5	440	460
B65	24—26	20	3,5	—	—	—	—	—	0,5	490	500
34A	—	27—29	5,5—6,5	—	—	—	—	—	0,45	—	525
П550A	—	27	6	15	15	—	—	—	0,5	530	550
П575A	19—21	—	—	—	—	—	—	—	0,35	550	575
Силумин	—	—	10—13	—	—	—	—	—	—	580	590
П590A	—	9—11	0,9—1,1	—	—	—	—	—	0,35	560	590
35A	—	20—22	6,5—7,5	—	—	—	—	—	0,45	—	540
—	—	—	—	—	—	40	—	—	—	430	535
—	—	—	5	—	—	—	—	—	—	—	630
—	—	—	—	—	—	29,5	—	—	—	566	566
—	—	—	5	—	—	—	—	31,5	—	460	500
—	—	—	4	—	—	—	—	34,0	—	455	485
—	—	—	3,5	—	—	—	—	36,0	—	422	486
АЛ2	0,3	0,6	10—13	—	—	—	0,5	—	—	477	600

для пайки сплавов АВ, АМц, АМг и др. и не пригодны для пайки Д1, Д16 и др., не допускающих нагрева выше 505 °С. Введение цинка и германия значительно снижает температуру плавления и позволяет использовать припои для пайки сплавов типа дюралюминия.

Для пайки изделий из алюминия и его сплавов, подвергающихся последующему анодному оксидированию, может применяться припой ВПр19 (20—23% Cu, 2,0—3,0% Si, 0,2—0,8 Mg, 0,2—0,4% Co, 0,02—0,04% Ti, 0,01—0,015% Sb, Al — остальное) с температурой плавления 515—540 °С.

Магниевые припои применяют главным образом для пайки магния и его сплавов. В их состав вводят алюминий, цинк, марганец.

Припой П380Мг содержит %: Mg 72—75; Al 2—2,5; Zn 23—25 (температура плавления 560 °С). Припой П430Мг содержит %: Mg 84,0—86,25; Al 0,75—1,0; Zn 13—15 (температура плавления 600 °С).

ОЛОВЯННО-СВИНЦОВЫЕ ПРИПОИ

Оловянно-свинцовые припои применяются в различных областях промышленности при низкотемпературной пайке сталей, никеля, меди и ее сплавов и других металлов (табл. 21). Минимальная температура плавления (183,3 °С) достигается при 61,9% Sn. Этот припой имеет эвтектическую структуру, весьма пластичен, обладает высокими технологическими свойствами (рис. 3). Недостатком этих припоев являются низкая коррозионная стойкость во всех климатических условиях (тропики, дождь, морской туман и т. д.) и потребность в отдельных случаях лако-

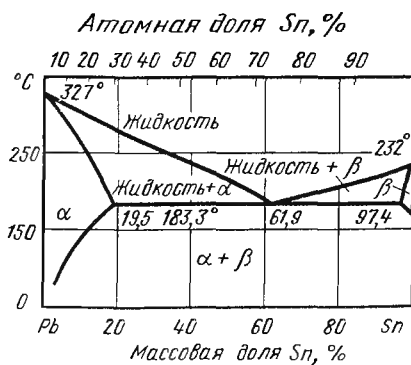


Рис. 3. Диаграмма состояния сплавов системы олово—свинец

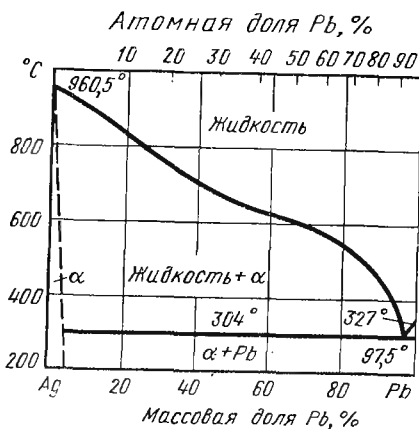


Рис. 4. Диаграмма состояния сплавов системы свинец—серебро

21. Химический состав, температура плавления и область применения оловянно-свинцовых припоев

Марка припоя	Температура, °C		Химический состав, % (Pb — остальное)		Область применения
	начала плавления	полного расплавления	Sn	Sb	
Бессурьмянистые					
ПОС 90	183	220	89—91	—	Лужение и пайка внутренних швов пищевой посуды и медицинской аппаратуры Лужение и пайка электро- и радиоаппаратуры, печатных схем, точных приборов с высокогерметичными швами, где недопустим перегрев Лужение и пайка электроаппаратуры, деталей из оцинкованного железа с герметичными швами Лужение и пайка контактных поверхностей электрических аппаратов, приборов, реле Лужение и пайка медной проволоки в кабельной промышленности и ювелирной технике Пайка деталей, чувствительных к перегреву, и металлизированной керамики
ПОС 61	183	190	60—62	—	
ПОС 40	183	238	39—41	—	
ПОС 10	268	299	9—11	—	
ПОС 61М	183	192	60—62	1,5—2,0 Si	
ПОСК 50—18	142	145	49—51	17—19 Cd	
Малосурьмянистые					
ПОССу 61—0,5	183	189	60—62	0,2—0,5	Лужение и пайка электроаппаратуры обмоток электрических машин, оцинкованных радиодеталей Лужение и пайка авиационных радиаторов; пайка пищевой посуды с последующим лужением пищевым оловом Лужение и пайка белой жести, обмоток электрических машин, пайка оцинкованных деталей Лужение и пайка свинцовых кабельных оболочек электротехнических изделий Лужение и пайка листового цинка, радиаторов
ПОССу 50—0,5	183	216	49—51		
ПОССу 40—0,5	183	235	39—41		
ПОССу 35—0,5	183	245	34—36		
ПОССу 30—0,5	183	255	29—31		

Продолжение табл. 21

Марка припоя	Температура, °С		Химический состав, % (Pb — остальное)		Область применения
	начала плавления	полного расплавления	Sn	Sb	
ПОССу 25—0,5	183	266	24—26		Лужение и пайка радиаторов
ПОССу 18—0,5	183	277	17—18		Лужение и пайка трубок теплообменников электроламп
Сурьмянистые					
ПОССу 95—5	234	240	94—96	4,0—5,0	Пайка в электропромышленности, пайка трубопроводов
ПОССу 40—2	185	229	39—41		Лужение и пайка холодильных устройств, припой широкого назначения
ПОССу 35—2	185	243	34—36	1,5—2,0	Пайка свинцовых труб, абразивная пайка
ПОССу 30—2	185	250	29—31		Лужение и пайка в холодильном аппаратостроении; абразивная пайка
ПОССу 25—2	185	260	24—26		Пайка в автомобильной промышленности
ПОССу 18—2	186	270	17—18	1,5—2,0	То же
ПОССу 15—2	184	275	14—15		»
ПОССу 10—2	268	285	9—10		»
ПОССу 8—3	240	290	7—8	2,0—3,0	Лужение и пайка в электроламповом производстве
ПОССу 5—1	275	308	4—5	0,5—1,0	Лужение и пайка деталей, работающих при повышенных температурах
ПОССу 4—6	244	270	3—4	5,0—6,0	Пайка белой жести, латуни и меди

22. Химический состав и температура плавления оловянных припоев с цинком, серебром, сурьмой, медью и кадмием

Марка припоя	Содержание элементов, %						Примеси, %, не более	Температура, °С	
	Sn	Zn	Ag	Sb	Cu	Cd		начала плавления	полного расплавления
П200А	89—91	9—11	—	—	—	—	0,35	199	210
П250А	79—81	19—21	—	—	—	—	0,35	199	250
Sn70Zn	69—71	29—31	—	—	—	—	0,35	200	315
Sn60Zn	59—61	39—41	—	—	—	—	0,35	200	345

Продолжение табл. 22

Марка припоя	Содержание элементов, %						Примеси, %, не более	Температура, °С	
	Sn	Zn	Ag	Sb	Cu	Cd		начала плавления	полного расплавления
ВПр6 (ПСрОСу8)	83—86	—	7,5—8,5	6,0—8,0	—	—	0,5	235	250
ВПр9 (ПСрМ05)	90,8—93,2	—	4,5—5,5	0,8—1,2	1,5—2,5	—	0,5	215	240
П150А	37,5—39,5	3,5—4,1	—	—	—	56,7—58,7	0,35	150	165
4223-1	70—80	20—30	1—2	—	—	—	0,3	260	280
4223-2	50—65	40—44	2—3	2—4	—	—	0,3	320	350
ВЭ49	55	43,5	1,5	—	—	—	0,3	190	400
П170А	78—80	—	0,9—1,1	—	—	19—20	0,3	170	175
ПОССр2 *	57,8—59,8	—	1,9—2,1	0,3	—	—	0,35	169	173
ПОСр3	96,7—97,3	—	2,7—3,3	—	—	—	0,3	220	220

* Содержит 37,5—39,5% Pb.

красочной защиты. Припой ВПр6 и ВПр9 могут применяться без всякой защиты при работе во всех климатических условиях (табл. 22).

Свинцовые припои. Свинец как припой применяется в исключительных случаях. Применяют припои на основе свинца с введением в их состав серебра, висмута, кадмия, цинка (рис. 4). Широкое применение получили свинцовые припои с содержанием до 3 % Ag. Эти припои обладают высокой пластичностью и хорошими технологическими свойствами, имеют большую теплостойкость, чем оловянно-свинцовые, их используют при пайке меди и латуни паяльником (табл. 23).

Легирование свинцовых припоев Sb, Na, Zn и другими элементами повышает прочность, предел текучести и коррозионную стойкость припоев. Среди свинцовых припоев припой СК-7 (6—10% Cd, 0,5—1,5% Zn, 1,0—1,5% Sb, ≤0,3% Na, Pb — остальное), температура плавления 270 °С. Припои ВПр12 и ВПр18 способны работать во всеклиматических условиях без защиты лакокрасочными покрытиями. Припой состава, %: Ag 7,5; Sn 4,5; Ni 0,15; Cu 3,8; Pb — остальное имеет наиболее высокий предел ползучести, обладает высокой хладостойкостью и применяется для пайки изделий криогенной техники.

23. Химический состав и температура плавления припоев на основе свинца с серебром

Марка припоя	Содержание элементов, %				Примеси, % не более	γ , кг/м ³	Температура, °C	
	Pb	Ag	Sn	Другие элементы			начала плавления	полного расплавления
ПСр 3	96—98	2,7—3,3	—	—	0,5	11 300	300	305
ПСр 2,5	91—93	2,2—2,8	5,0—6,0	—	0,5	11 000	295	305
ПСр 2	61,5—	1,7—2,3	29,0—	4,5—5,5 Cd	0,5	9 600	225	235
	64,5		31,0					
ПСр 1,5	82—85	1,2—1,8	14—16	—	0,5	10 400	265	270
—	93,5	1,5	5,0	—	—	—	296	301
—	97,5	1,5	1,0	—	—	—	309	310
—	95—98	5—6	1,2	—	—	—	302	304
ВПр12 (ПСр 05-40)	Основы	4,5—5,5	39—41	4,5—5,5 Cu 1,3—1,7 Sb 0,1—0,2 P	0,5	9 380	220	300
ВПр 18	Основы	1,2—1,8	4,5—5,5	5,0—8,0 In	0,5	10 300	295	305

ИНДИЕВЫЕ, ЦИНКОВЫЕ, КАДМИЕВЫЕ, ВИСМУТОВЫЕ И ГАЛЛИЕВЫЕ ПРИПОИ

Индиевые припои имеют низкую температуру плавления, высокую коррозионную стойкость в щелочных растворах, высокую пластичность и хорошую смачивающую способность [9]. Применяются для пайки изделий с вакуумно-плотными соединениями стеклянных и кварцевых изделий, позволяют проводить пайку материалов с различными ТКЛР. Химический состав индиевых припоев приведен в табл. 24. Эвтектический индиевый припой

24. Химический состав и температура плавления индиевых многокомпонентных припоев

Содержание элементов, %							Температура полного расплавления, °C
In	Cd	Pb	Sn	Ag	Zn	Tl	
25	—	75	—	—	—	—	231
80	—	15	—	—	—	—	156
97,2	—	—	—	—	2,8	—	143
42,8	—	7,8	46,8	—	—	2,6	121
50	—	—	50	—	—	—	120
44,2	—	—	46,8	—	—	9,0	117
74	24,25	—	—	—	1,75	—	116
48,2	—	4	46	—	1,8	—	108

26. Химический состав и температура плавления кадмиевых припоев

Марка припоя	Содержание элементов, % (Cd — остальное)						Температура полного расплавления, °C
	Zn	Ag	Mg	Ni	Sn	Al	
К-1	0,8—1,7	2,5—3,5	—	—	—	—	325
—	16,0	5,0	—	—	—	—	285
—	15,0	15,0	—	—	—	—	400
К83-17	17,4	—	—	—	—	—	266
—	40	—	—	—	—	—	310
К-3	—	2,5—3,5	0,03—0,08	—	—	—	330
ПСр 3Кд	0,5—1,5	2,5—3,5	—	—	—	—	325
—	—	11—13	0,1—0,2	—	—	—	420
ПСр 8КЦН	5—7	7—9	—	1,5—2,5	—	—	370
ПСр 5КЦН	1,5—2,5	4—6	—	1,5—2,5	—	—	355
ПЦАМКд 33	32—34	—	—	—	9,5	7,0	260
ПЦАМКд 40	39—41	—	—	—	11—12	8—9	310
ПЦАМКд 45	45	—	—	—	13,5	9,5—10,5	340
—	50	—	—	—	—	—	320
—	30	—	—	—	—	—	332

27. Химический состав и температура плавления галлиевых припоев

Марка припоя	Содержание элементов, %						Температура, °C	
	Ga	Te	Zn	Sn	In	Ag	начала плавления	полного расплавления
—	100	—	—	—	—	—	—	29,8
—	99,5	0,5	—	—	—	—	—	27,3
—	95	—	5	—	—	—	25	25
—	92	—	—	8	—	—	20	20
—	82	—	6	12	—	—	—	17
—	76	—	—	—	24	—	16	16
—	67	—	4	—	29	—	—	13
—	62	—	—	13	25	—	—	5
—	61	—	1	13	25	—	—	3
ГИС № 2 *	73,8—74,2	—	—	—	23,8—24,2	1,9—2,1	—	—
ГИСМ	55	—	—	11	25	—	10,6	10,6

Сплав ГИС (34—36%) + медный порошок (64—66%)

* Содержит 1% Zr, 4% Cd, 4% Mg.

In, Cd, Zn, Pb, Al и др.), образуя эвтектику [7]. Благодаря большой диффузионной подвижности галлия температура распая и прочность паяных соединений, выполненных некоторыми припоями, сильно повышается (табл. 27).

ТИТАНОВЫЕ ПРИПОИ

Припои с титаном (более 10%) обладают повышенной активностью [5] и способностью смачивать окисленные поверхности металлов, минералокерамику, графит и другие материалы. Титановые высокотемпературные припои применяют для пайки тугоплавких металлов, титана, ниобия, молибдена, вольфрама в газообразных средах и в вакууме (табл. 28 и 29).

28. Химический состав и температура плавления титановых припоев

Содержание элементов, % (Ti — остальное)							Температура, °C	
Ni	Pd	Cu	Co	Be	Zn	Другие элементы	начала плавления	полного расплавления
28	—	12	—	—	—	—	—	—
52	—	15	5	—	—	—	—	—
—	—	—	—	4	—	48 Zr	—	—
26	—	10	—	—	—	—	—	—
—	46	—	—	2	—	—	—	—
—	—	40	—	—	—	—	955	986
28	—	—	—	—	—	—	955	955
—	—	—	—	5	40	—	—	—
—	—	—	—	—	—	27 Fe	—	—
—	—	—	—	—	—	10 Mo	—	—
43,7	—	—	—	—	—	4,2 Si	950	1000
—	—	—	5	5	40	—	—	—
—	—	—	—	—	—	10 V	—	—
—	—	—	—	—	—	27 Fe	—	—
—	—	—	—	4	—	28 V	—	—
—	—	50	—	—	—	3,5 Si	—	975
—	—	—	28	—	—	3,0 Fe	1025	1025

29. Химический состав и температура плавления титановых припоев с цирконием, ванадием, ниобием, хромом и бериллием

Содержание элементов, % (Ti — остальное)						Температура, °C			Паяемый материал
Zr	V	Nb	Cr	Ta	Be	начала плавления	полного расплавления	пайки	
—	30	—	—	—	—	—	1630	1650	Ниобий и его сплавы
48	—	—	—	—	4	950	—	1050	
—	—	—	33	—	—	1400	1450	1500	
—	15	—	5	—	—	—	—	1650	
50	—	—	—	—	—	1610	1620	1670	
—	27	9	—	—	—	—	—	1650	
56	28	—	—	—	—	1150	1205	1250	Вольфрам Молибден и его сплавы Тантал и его сплавы
—	—	80	—	—	—	2205	2260	2400	
—	20	—	—	—	—	1620	1650	1700	
—	20	—	—	—	—	1650	—	1700	

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПРИПОИ

К композиционным припоям относятся припои, имеющие гетерофазную структуру псевдосплава и состоящие из матрицы и наполнителя. Матрица — легкоплавкая часть припоя, обеспечивает смачивание паяемых поверхностей, наполнитель — тугоплавкий материал. Эти два компонента припоя могут быть в виде порошка, фольги, нитей, сетки и т. д.

Назначение припоев: пайка изделий с большими зазорами ($\geq 0,6$ мм); пайка изделий из пористых материалов; повышение прочности эрозионной и коррозионной стойкости паяных соединений.

Для пайки изделий с зазорами 0,5—1,0 мм из жаропрочных никелевых сплавов получил применение композиционный припой ВПр11-40Н, состоящий из 60% матрицы — порошка припоя ВПр11 и 40% наполнителя (1,8—2,2% Si, 0,6—12% В, остальное Ni), температуры плавления 1120 и 1380 °C.

Припой применяется в виде пасты, изготовленной из порошков, и связки (10% раствора акриловой смолы ВМК-5 в растворителе Р-5). Применение композиционного припоя ВПр-11-40Н по сравнению с припоем ВПр11 повышает прочность соединений из никелевых сплавов на 20—40% и снижает эрозию паемого металла. Припой, применяемый для пайки режущего инструмента из быстрорежущих сталей различных марок, состоит из матрицы — фольги

(0,1—0,25 мм) припоя ВПр7 (см. табл. 18) и наполнителя — порошка вышеуказанного состава. Наполнитель наносится (напыляется) на покрытую смолой поверхность фольги. Этот припой позволяет совмещать пайку (1220—1300 °С) с закалкой режущего инструмента. Для пайки пористых материалов в качестве наполнителя припоя используется мелкая металлическая сетка, которая смачивается в расплаве (матрице) и прокатывается на фольгу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по пайке. 2-е изд., перераб. и доп./Под ред. И. Е. Петрунива. М.: Машиностроение, 1984. 400 с.
2. Китаев А. М., Губин А. И. Сварка и пайка тонкостенных трубопроводов. М.: Машиностроение, 1972. 132 с.
3. Хряпин В. Е. Справочник паяльщика. М.: Машиностроение, 1981. 346 с.
4. Лашко Н. Ф., Лашко С. В. Пайка металлов. М.: Машиностроение, 1988. 375 с.
5. Гришин В. Л. Свойства соединения титана и его сплавов, паянных медью//Сварочное производство, 1975. № 10. С. 5—7.
6. Гржимальский Л. Л. Самофлюсующие припои. Л.: Знание, 1972. 82 с.
7. Тихомирова О. И. Теоретические проблемы разработки галлиевых паст. М.: НТО Машпром, 1972. 280 с.
8. Пайка при производстве крупногабаритных строительных металлоконструкций/И. Е. Петрунин, П. К. Мороз, Г. Н. Стрекалов, Ю. Ф. Шейн. М.: Стройиздат, 1980. 148 с.
9. Петрунин И. К., Лодманов С. Н., Николаев Г. А. Пайка металлов. М.: Металлургия, 1973. 281 с.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом разработаны различные флюсы для пайки черных и цветных металлов с использованием боридов, фторидов, хлоридов, оксидов и других химических соединений. Наиболее широко применяемые флюсы для высокотемпературной пайки стандартизованы (ПВ200, ПВ201, ПВ209, ПВ284).

ФЛЮСЫ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПАЙКИ

Характеристика флюсов для пайки черных и цветных металлов при температуре выше 650°C приведена в табл. 1.

Характеристика флюсов для пайки алюминия, магния, титана и их сплавов приведена в табл. 2.

ФЛЮСЫ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПАЙКИ

Галогенидные флюсы. Галогенидные флюсы могут быть использованы для низкотемпературной пайки почти всех черных и цветных металлов. Наиболее широкое применение для пайки нашли хлористый аммоний (NH_4Cl) и хлористый цинк (ZnCl_2), а также различные смеси, куда входят эти и другие хлориды [1, 2] (табл. 3).

Флюсы на органической основе. При низкотемпературной пайке могут быть использованы канифоль, гидразин, анилин, глицерин и некоторые другие органические вещества, обладающие флюсующими свойствами.

Канифоль — твердое стекловидное вещество с температурой плавления 125°C , полученное из сосновой смолы. Флюсующий эффект канифоли связан с содержащейся в ней абиединовой кислотой, растворяющей некоторые оксиды. При температуре $300\text{--}400^{\circ}\text{C}$ канифоль разлагается с выделением углерода и водорода, вследствие чего восстановление оксидов паяемого металла идет более интенсивно.

В канифоли содержится также терпентин, нейтрализующий абиединовую кислоту, поэтому остатки флюса после пайки не вызывают коррозии соединения.

Гидразин (диамид) (H_2NNH_2) — бесцветная жидкость с температурой кипения $113,5^{\circ}$, являющаяся сильным восстановителем.

1. Состав и характеристика флюсов для пайки черных и цветных металлов и сплавов на их основе при температуре выше 650 °С

Компоненты	Содержание (массовая доля), %	Температурный интервал активности, °С	Назначение и характеристика флюса
Флюс ПВ200 Бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) Оксид бора (B_2O_3) Фтористый кальций (CaF_2)	18—20 65—67 14—16	800—1200	Пайка коррозионно-стойких и конструкционных сталей, жаропрочных сплавов
Флюс ПВ201 Бура Оксид бора Фтористый кальций Лигатура (Al — 48%, Cu — 48%, Mg — 4%)	11—13 76—78 9,5—10,5 0,9—1,1	800—1200	Пайка коррозионно-стойких и конструкционных сталей, жаропрочных сплавов высоко- и среднеплазменными припоями
Флюс ПВ209 Калий фтористый Оксид бора Тетрафторборат калия (KBF_4)	41—43 34—36 22—24	700—900	Пайка коррозионно-стойких и конструкционных сталей
Флюс ПВ284 Борная кислота Гидрат окиси калия Фтористоводородная кислота	29—31 25—27 43—45	700—900	Пайка коррозионно-стойких и конструкционных сталей, меди и медных сплавов среднеплазменными припоями
Бура Фтористый натрий Хлористый натрий	90 2,6—2,8 7,2—7,4	800—1150	Пайка чугуна (припой латунные, легированные алюминием)
Фтороокись калия Фторборат калия Борная кислота Раствор едкого калия (35—65%)	20—40 15 40—65 5—25	550—950	Пайка сверхтвердых сплавов и высокоуглеродистых инструментальных сталей
Борная кислота Бура Фтористокислый калий Фторборат калия Фтористый литий	60—80 5—25 4—10 2—8 1—5	870—920	Пайка меди с коррозионно-стойкой сталью. Флюс изготавливают путем растворения в воде при нагреве указанной смеси солей в соотношении 4 : 1; после охлаждения флюс имеет консистенцию пасты

Продолжение табл. 1

Компоненты	Содержание (массовая доля), %	Темпера- турный интервал активности, °С	Назначение и характеристика флюса
Борная кислота Фтористый натрий	49—53 Остальное	850	Пайка углеродистых и хромоникелевых сталей, чугуна, меди и ее сплавов
Вольфрамат кобальта Фтористый калий Фтористый натрий Оксид вольфрама Оксид кобальта Оксид бора	0,1—8 5—8 2—4 1—10 0,1—1 Остальное	1000—1200	Пайка твердосплавного инструмента
Борная кислота Бор Фтористый натрий Бура Фтористый кальций	3—5 0,05—0,4 2—5 6—9 80—85	1200	Пайка коррозионно-стой- ких сталей
Бура Борная кислота	50 50	800—1150	Пайка углеродистых ста- лей, чугуна, меди, ла- туни, бронзы и твердых сплавов медноцинковыми и серебряными припоями
Бура Борная кислота	80 20		
Флюс 18В Фтористый калий (обезвоженный) Борная кислота	40 60	550—850	Пайка сталей, никелевых, медных сплавов серебря- ными припоями
Фтористый калий Борный ангидрид Азотнокислый калий Фтористый натрий Углекислый литий Фторборат калия	10—20 15—25 5—15 5—10 2—6 Остальное	600—900	Пайка латуни кислород- но-ацетиленовым пламе- нем
Борная кислота Кристаллическая бура Натрий фтористый Фторборат калия (на- трия) Алюминат лития (калия, натрия)	20—30 20—30 20—40 15—30 5	650—850	Пайка изделий из корро- зионно-стойких сталей, меди, медных сплавов припоями, содержащими 25—75% серебра
Хлористый барий Фтористый литий Хлористый цинк	8—10 8—10 26—28	850—900	Пайка алюминиевой брон- зы

Продолжение табл. 1

Компоненты	Содержание (массовая доля), %	Темпера- турный интервал активности, °С	Назначение и характеристика флюса
Борная кислота Бура Фтористый кальций	39—41 7—8 2—3	850—1200	Пайка коррозионно-стойких и конструкционных сталей, жаропрочных сплавов, меди, никеля и сплавов на их основе. Имеет широкий интервал активного действия
Лигатура (Al — 48%, Cu — 48%, Mg — 4%) Толченное стекло	0,2—0,3 47,7—51,8		
Оксиды алюминия и железа Оксиды калия и натрия Оксид кальция Оксид магния Фтористый натрий Фтористый кальций Двуокись кремния	0,5—3 5—10 2,6—6 0,5—3 35—45 5—15 Остальное	1100—1300	Пайка быстрорежущих и конструкционных сталей и других металлов. Флюс не вызывает эрозии металлов
Тетраборфторборат калия Хлористый литий Хлористый калий Хлористый кадмий	55—58 80—10 8—10 26—28	725—775	Пайка алюминиевых бронз

2. Состав и характеристика флюсов для высокотемпературной пайки алюминия, магния, титана и их сплавов

Компоненты	Содержание (массовая доля), %	Темпера- турный интервал активности, °С	Назначение и характеристика флюса
Флюс 34А Хлористый калий Хлористый литий Фтористый натрий Хлористый цинк	54—56 29—35 9—11 8—12	420—620	Пайка алюминия и его сплавов, не содержащих магния свыше 1—1,5%. Нагрев печной, газопламенный, ТВЧ. Исключается пламя кислородно-ацетиленовых горелок
Флюс ФЗ Хлористый калий Хлористый натрий Фтористый натрий Хлористое олово	47 38 10 5	420—620	Пайка алюминиевых сплавов типа АД1, АМц, АМг. Флюс менее гигроскопичен из-за отсутствия хлористого цинка

Продолжение табл. 2

Компоненты	Содержание (массовая доля), %	Темпера- турный интервал активности, °С	Назначение и характеристика флюса
Флюс Ф5			
Хлористый калий	45	420—620	Пайка алюминиевых сплавов типа АД1, АМц, АМг. Флюс менее гигроскопичен из-за отсутствия хлористого цинка
Хлористый литий	38		
Фтористый натрий	10		
Хлористое олово	3		
Хлористый кадмий	4		
Флюс Ф370			
Хлористый калий	47	560—620	
Хлористый литий	38		
Фтористый натрий	5		
Хлористый кадмий	10		
Флюс Ф380			
Хлористый калий	47	560—620	Пайка алюминиевых сплавов в соляных ваннах
Хлористый литий	38		
Фтористый натрий	5		
Хлористый цинк	10		
Флюс Ф17			
Хлористый калий	51	570—620	
Хлористый литий	41		
Карналит	8		
Флюс 124			
Хлористый калий	47	550—620	Пайка сплавов типа АД1, АМц, АМг в печи и в соляных ваннах
Хлористый литий	23		
Хлористый натрий	22		
Фтористый натрий	8		
Флюс ДАУ451			
Хлористый калий	42	540—600	Пайка магниевых сплавов припоями на основе магния с добавками алюминия и цинка
Хлористый натрий	21		
Хлористый литий	23		
Фтористый натрий	4		
Фтористый литий	10		
Флюс № 5			
Карналит плавленный	89	420—620	
Криолит	8		
Оксид цинка	3		
Флюс № 6			
Фтористый натрий	7—9	420—500	Пайка магниевых сплавов припоями на основе магния с добавками алюминия и цинка
Оксид алюминия	3—5		
Карналит	Остальное		

Продолжение табл. 2

Компоненты	Содержание (массовая доля), %	Темпера- турный интервал активности, °С	Назначение и характеристика флюса
Фтористый калий	35	—	Пайка титана со сталью серебряными припоями
Хлористый калий	50		
Хлористый барий	10		
Фтористый барий	5		

3. Состав и характеристика галогенидных флюсов для низкотемпературной пайки черных и цветных металлов

Компоненты	Содержание (массовая доля), %	Темпера- турный интервал активности, °С	Назначение и характеристика
Хлористый цинк	40	290—350	Пайка углеродистых и низколегированных ста- лей, меди, никеля и их сплавов
Вода	60		
Хлористый цинк	48	150—320	
Хлористый аммоний	12		
Вода	40		
Хлористый аммоний	4	150—400	Пайка сплавов меди и железа
Хлористый цинк	6		
Соляная кислота	5		
Вода	85		
30—40%-ный водный раствор хлористого цин- ка	2 *	180—330	Пайка коррозионно-стой- ких сталей типа 12Х18Н9Т
Соляная кислота	1 *		
Флюс ФК30		400	Пайка меди и ее сплавов (припой с высокой тем- пературой плавления)
Кадмий хлористый	30		
Натрий хлористый	50		
Цинк хлористый	15		
Аммоний хлористый	5		
Флюс ЗИЛ1		—	Пайка стали, железа, чу- гуна (припой с большим содержанием свинца)
Цинк хлористый	40		
Олово двухлористое	5		
Медь хлорная	0,5		
Кислота соляная	3,5		
Вода	51		

* Массовые доли.

4. Состав и назначение канифольных, гидразиновых, анилиновых и других флюсов для низкотемпературной пайки

Компоненты	Содержание (массовая доля), %	Темпера- турный интервал активности, °С	Назначение	
Канифоль	30	150—300	Пайка меди припоями с содержанием олова 30%; для пайки латуней и бронз менее эффективен	
Спирт этиловый	70			
Канифоль	24	180—300		
Стеарин	1			
Спирт этиловый	75			
Флюс ЛМ-1			Пайка хромоникелевых, коррозионно-стойких ста- лей припоями с содержа- нием олова 30%; для пайки меди и ее сплавов не рекомендуется	
Ортофосфорная кислота (плотность 1,6—1,7)	32	200—240		
Канифоль	6			
Спирт этиловый или эти- ленгликоль	62			
Флюс ЛК-2				Пайка меди, латуни и оцинкованного железа
Хлористый аммоний	1	200—360		
Хлористый цинк	3			
Канифоль	30			
Спирт этиловый	66			
Канифоль	22	200—350	Пайка меди, латуни и оцинкованного железа	
Анилин солянокислый	2			
Спирт этиловый	76			
Вазелин технический	45	180—300	Пайка медных электро- технических приборов, флюс-паста	
Канифоль	30			
Глицерин	15			
Хлористый цинк	6			
Парафин	4			
Молочная кислота	15	180—280	Пайка меди, латуни, бронзы	
Вода	85			
Солянокислый гидразин	5	150—330		
Вода	95			
Флюс ВТС				Пайка меди, серебра, во- лота и их сплавов
Вазелин	70	180—300		
Салициловая кислота	10			
Триэтанолламин	10			
Спирт этиловый	10			
Глицерин	35	250—350	Пайка меди и ее спла- вов, никеля, серебра, уг- леродистых сталей	
Гидразин солянокислый	5			
Вода	60			

Продолжение табл. 4

Компоненты	Содержание (массовая доля), %	Темпера- турный интервал активности, °С	Назначение
Флюс Ф10 Вода Глицерин Хлористая медь Хлористое олово	47 47,9 0,1 5,0	200—300	Пайка углеродистых ста- лей
Флюс Ф16 Вода Хлористый кадмий Глицерин Хлористое олово	40 10 40 10	200—290	
Вода Глицерин Хлористое олово Хлористый кадмий Соляная кислота	41 40 5 10 4	200—300	Пайка сталей
Флюс 38М Этиленгликоль или гли- церин (или их смесь 1 : 1) Диэтиламин солянокис- лый Ортофосфорная кислота	50 25 25	350	Пайка нихрома, берил- лиевой бронзы, констан- тана, коррозионно-стой- кой стали
Флюс ФИМ Ортофосфорная кислота Этиловый спирт Вода	0,2 1 Остальное	—	Пайка алюминиевой и бе- риллиевой бронзы, кор- розионно-стойкой стали
Флюс Прима 1 Хлористый цинк Глицерин Хлористый аммоний Метиловый спирт Вода	7,3 60 2,7 1 Остальное	150—400	Пайка меди и ее сплавов и металлов платиновой группы
Паста Нисо Глицерин Вазелин Хлористый цинк	5 80 15	200—360	Пайка меди

Продолжение табл. 4

Компоненты	Содержание (массовая доля), %	Темпера- турный интервал активности, °С	Назначение
Флюс 54А			
Триэтанолламин	82	150—320	Пайка алюминия и сплава АМц с медью и сталью припоями на основе спла- ва олово—цинк и цинк— кадмий
Фторборат кадмия	10		
Фторборат аммония	8		
Флюс Ф134			
Хлористый калий	35	390—420	Пайка магниевых сплавов и сплавов алюминия со значительным содержа- нием магния (АМгЗ, АМг5, АМг6Т)
Хлористый литий	30		
Фтористый цинк	10		
Хлористый кадмий	15		
Хлористый цинк	10		

Для пайки используются два вида солянокислого гидразина с температурой плавления 92 и 198 °С. Соли гидразина бесцветные, хорошо растворяются в воде и при плавлении разлагаются с выделением водорода и хлористого водорода.

Анилин (аминобензол, фениламин) ($C_6H_5NH_2$) — бесцветная жидкость с температурой кипения 184,4 °С. Кроме высокой активности анилиновые флюсы при пайке дают остаток, который не только не вызывает коррозии соединения, но и образует твердую пленку, защищающую шов от воздействия внешней среды.

Канифольные, анилиновые и другие флюсы, содержащие различные активные компоненты, приведены в табл. 4.

Некоторые составляющие этих флюсов являются нейтральными веществами, придающими флюсам необходимые физические свойства.

Канифоль, гидразин, анилин, глицерин и другие органические вещества удаляют оксиды только таких металлов, как медь, серебро, олово и в чистом виде применяются все реже, особенно в серийном и массовом производстве. Более широкое применение нашли органические флюсы, активированные различными неорганическими соединениями. Такие флюсы используются не только для пайки меди и ее сплавов, но и для пайки конструкционных и коррозионно-стойких сталей и других сплавов.

ПАЯЛЬНЫЕ ПАСТЫ

Паяльной пастой принято называть вещество, готовое к употреблению при пайке и состоящее из порошкообразного припоя и пастообразного флюса. Существуют паяльные пасты как для низкотемпературной, так и для высокотемпературной пайки.

5. Состав, назначение и характеристика паяльных паст

Компоненты	Содержание (массовая доля), %	Назначение и характеристика
Хлористый цинк Хлористый аммоний Канифоль Идитол Уротропин Двуокис титана Порошкообразный припой	7—9 2—4 4—6 11—18 0,4—0,6 10,6—12,4 58—62	Пайка предохранителей, резисторов, конденсаторов
Хлористый литий Хлористый калий Хлористый натрий Хлористый стронций Порошок припоя	20—24 31—38 21—25 5—6,5 Остальное	Пайка алюминия и его сплавов. Паста не разрушается при длительном хранении. Размер частиц порошка должен быть 250 мкм
Криолит Связующее вещество (полимеры полиакрилатов, полиэтиленгликоли) Порошок припоя системы Al—Si, Al—Cu, Al—Zn, Al—Cu—Zn	13—16 7—35 15—75	
Порошкообразный припой системы Al—Si, Al—Zn, Al—Cu—Zn Одноатомный спирт Шеллак Фторцирконат калия (или фтортитанат калия)	70,1—80 18—25 1—4 0,1—0,9	Пайка алюминия. Пасту хранят в герметичной таре
Припой ПОССу 30—2 Хлористый цинк Хлористый натрий Хлористый аммоний Крахмал Вода	75—80 7—8 0,4—0,6 0,04—0,1 0,2—0,4 Остальное	Пайка черных и цветных металлов
Припой ПОССу 30—2 Вазелин Бензойная кислота Хлористый аммоний Эмульгатор ОП-7	75—80 18—20 1,2—1,3 1,2—1,3 Остальное	Пайка стали, никеля, меди и латуни
Припой ПОССу 30—2 Бензойная кислота Глицерин	75—80 0,5—8 16—18	Пайка стали, меди, медных сплавов

Продолжение табл. 5

Компоненты	Содержание (массовая доля), %	Назначение и характеристика
Желатин	0,2—0,45	Пайка меди, серебра и их сплавов. Флюс не вызывает коррозию паяного соединения
Вода	Остальное	
Канифоль	22,4—49,1	
Глицерин	31,7—54,8	
Полиэтиленгликоль	17,1—21,2	
Анилингидрохлорид	0,8—1,6	
Мочевина	0,5—0,8	Пайка соединений электрических выводов с металлизированной керамической подложкой. Температура пайки не должна превышать 1600 °С, когда происходит коробление керамики. Оптимальная температура пайки 1300—1500 °С
Припой оловянно-свинцовый	Остальное	
Вольфрам	21,5	
Оксид кальция	7,5	
Двуоксид кремния	5,5	
Двуоксид титана	5,5	
Оксид алюминия	3,5	Пайка крупногабаритных изделий из углеродистых и легированных сталей. Оптимальная температура пайки 1100 °С
Растворитель (43—44% карбоната этилена и 12,5—13,5% этилцеллюлозы)	56,5	
Стекло № 15	10	
Флюс ПВ201	10	
Сталь 20 (порошок, размер зерна 350 мкм)	12	
Припой П-87 (зернистость та же)	60	
Акриловый лак (связующее)	Остальное	

Некоторые паяльные пасты, применяемые в нашей стране и за рубежом, приведены в табл. 5.

Галогенидные флюсы и флюсы, содержащие другие активные неорганические соединения, используемые для низкотемпературной пайки, способствуют коррозионному разрушению паяных швов. Остатки таких флюсов следует тщательно удалить после пайки промывкой изделия в горячей и холодной воде. С успехом для очистки паяных изделий может быть использована ультразвуковая обработка.

ГАЗОВЫЕ СРЕДЫ

Пайка в газовой среде по сравнению с пайкой с применением флюсов имеет значительные преимущества, к основным из которых относятся: высокое качество соединения; высокая производительность процесса; незначительное коробление изделия вследствие равномерного нагрева детали; возможность строгого контролирования температуры пайки и времени выдержки в печи; возможность автоматизации и механизации процесса пайки, обеспечение одновременной пайки партии деталей или пайки за один прием сложных

6. Химический состав восстановительных газов и их примерное назначение

Условное обозначение газа	Состав атмосферы, %					Точка росы, °С	Назначение
	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	N ₂		
H ₂	—	—	100	—	—	—60	Пайка легированных сталей и жаропрочных сплавов
ДА	—	—	75	—	25	—60	
ПСА-08	—	—	7—20	—	93—80	от —20 до —40	Пайка малоуглеродистых сталей
ГГ-С	30	2	6	1	61	—10	
ГГ-ВО	33	0,2—0,7	6	1	59,5	—25	Пайка углеродистых и низколегированных сталей
ПСО-06	10	0,1	16	1,5	72,5	—40	
ПСО-09	2	0,1	2	—	96	—40	
ПСС-Э	20	0,2	5	2	74,8	—25	
КГ-ВО	21	0,5	40	2	36,5	—40	

деталей, имеющих несколько швов; высокая чистота поверхностей паяных деталей, не требующая очистки после пайки [1, 3, 4].

В настоящее время для пайки в печах или контейнерах используются восстановительные, инертные и различные активированные газовые среды (табл. 6).

Указанные газы применяются преимущественно для пайки медью малоуглеродистых сталей при температуре 1120—1150 °С. Для пайки при более низкой температуре необходимо дополнительное флюсование паяемого изделия и припоя. Обычно это осуществляется окунанием паяемой детали в водный раствор флюса (буры). Пайка легированных сталей и жаропрочных сплавов в газовых средах, приведенных в табл. 6, возможна только при условии тонкой очистки этих газов от кислорода и влаги. Поскольку крупногабаритные промышленные установки изготавливаются из огнеупорных материалов, адсорбирующих кислород и влагу из воздуха, получить «чистую» атмосферу в печи не всегда удается, поэтому в графе «Назначение» табл. 6 указана лишь принципиальная возможность пайки легированных сталей в промышленных восстановительных газах.

Активированные газы. Дополнительное флюсование деталей из легированных сталей и труднопаяемых сплавов перед пайкой в газовых средах не всегда дает положительные результаты. В этих случаях пайка может не произойти или на поверхности

7. Физические свойства бор- и фосфоргалоидных соединений

Наименование соединения	Химическая формула	Температура плавления, °C	Температура кипения, °C
Трехфтористый бор	BF_3	—128,7	—100,4
Треххлористый бор	BCl_3	—107	17,5—18,5
Трехбромистый бор	BBr_3	—46	96,6
Треххлористый фосфор	PCl_3	—93,6	75

изделия могут остаться следы флюса, которые портят товарный вид изделия, кроме того, это с течением времени приводит к коррозии металла. Поэтому вместо растворов флюсов целесообразно в атмосферу печи ввести вещество, которое при температуре пайки превращается в газообразное состояние и активно удаляет оксиды металлов.

Практика паяния показала, что хорошими активаторами газовых сред являются трехфтористый бор, треххлористый бор, трехбромистый бор и треххлористый фосфор (табл. 7).

При пайке в газовых средах, содержащих микродозы указанных бор- или фосфоргалоидных соединений, в результате взаимодействия с оксидной пленкой образуются жидкие или газообразные продукты реакции.

Установлено, что в атмосфере с треххлористым бором удается спаять многие металлы, в том числе коррозионно-стойкие стали и жаропрочные сплавы. В связи с тем, что фториды являются довольно тугоплавкими веществами, успешная пайка в BF_3 осуществляется при высоких температурах (1050—1150 °C).

Как показали термодинамические расчеты, треххлористый бор является более химически активным соединением по отношению ко многим оксидам, чем BF_3 . Хлориды, образуемые при пайке в BCl_3 , имеют более низкую температуру плавления и испарения, чем фториды.

Перспективным активатором газовых сред является трехбромистый бор, так как температура плавления и кипения бромидов, как правило, ниже, чем соответствующих хлоридов.

Боргалоидные соединения дают положительный эффект при пайке легированных сталей, коррозионно-стойких сплавов и многих других металлов. Не удастся паять в атмосфере, содержащей боргалоидные соединения, алюминий, магний, титан и сплавы на их основе.

При пайке в печах или контейнерах основными газами—носителями активных компонентов могут быть азот, аргон, а также восстановительные атмосферы, о которых говорилось выше. Объемная доля боргалоидных соединений в зависимости от их природы меняется в пределах от 1—3 до 0,01—0,001%.

Среди активаторов газовых сред занимает особое место треххлористый фосфор PCl_3 , взаимодействующий с оксидами с образованием трехоксида фосфора, представляющей собой жидкость с температурой кипения $175,5^\circ C$, хлоридов, являющихся часто при температуре пайки жидкими и газообразными веществами. В атмосфере, содержащей PCl_3 , удается паять алюминий, поскольку при температуре выше $180^\circ C$ все продукты взаимодействия PCl_3 с оксидом алюминия находятся в газообразном состоянии.

Рекомендуемая объемная доля треххлористого фосфора в газе-носителе составляет 0,1—0,001%.

Термодинамические расчеты и экспериментальные исследования показывают, что при взаимодействии PCl_3 с водородом и водой не образуется ядовитого вещества PH_3 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Есенберлин Р. Е. Пайка и термическая обработка деталей в газовой среде и вакууме. Л.: Машиностроение, 1972. 192 с.
2. Справочник по пайке//Под ред. И. Е. Петрунина, 2-е изд. М.: Машиностроение, 1984. 400 с.
3. Лашко С. В., Лашко Н. Ф. Пайка металлов, М.: Машиностроение, 1988. 375 с.
4. Петрунин И. Е., Лоцманов С. Н., Николаев Г. А. Пайка металлов. М.: Металлургия, 1966. 279 с.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕЧНОЙ ПАЙКИ

По методу нагрева печное оборудование разделяют на электропечи сопротивления, индукционные печи и установки, которые в свою очередь делят на печи с контролируемой средой и вакуумные.

Электропечи с контролируемыми газовыми средами. Печи с контролируемыми средами оснащены устройствами для транспортирования паяемых изделий, а в некоторых случаях установками для приготовления газовых смесей. В массовом производстве целесообразно применять высокопроизводительные электропечи с шагающим подом, для пайки в среде водорода и азотно-водородной смеси, например, конвейерную электропечь сопротивления СКЗ-4.20.1,5/11,5-Х45М1, оснащенную камерой охлаждения и предназначенную для высокотемпературной пайки узлов с массой не более 2,0 кг.

Технические данные электропечи СКЗ-4.20.1,5/11,5-Х45М1:

Мощность печи, кВт	85
Напряжение, В	380
Температура рабочего пространства, °С	1150
Максимальная нагрузка конвейерной ленты, Н/м.	131,39

1. Технические данные колпаковых электропечей для пайки в среде водорода

Параметр	Одноколпаковая			Двухколпаковая	
	ИО59.015	ЦЭП-341А	СГН-2,4-2/1311	ЛМ-3360	ИО59.014
Потребляемая мощность, кВт	5	35	43	20	7
Рабочая температура, °С	1300	1150	1300	1200	1300
Расход газа, м³/ч	0,125	0,05	—	—	0,125
Размеры рабочего пространства, мм	130×160	210×300	200×400	170×250	130×160
Габаритные размеры печи, мм	745× ×620× ×1480	1600× ×870× ×1680	3120× ×1840× ×2435	1200× ×1000× ×2100	1745× ×620× ×1480

2. Технические данные элеваторных электропечей для пайки в среде водорода

Параметр	ИО59.004	ИО59.005	СКБ-7018	СКБ-7049
Потребляемая мощность, кВт	140	250	200	118
Рабочая температура, °C	1200	1200	1600	2000
Расход газа, м³/ч	1,0	3,5 *	1,5	1,0
Размеры рабочего пространства, мм	510×800	670×1400	500×500	200×300
Габаритные размеры печи, мм	2200× ×1800× ×3100	3930× ×2400× ×4270	1840× ×1500× ×2800	—

* Расход газа за цикл.

В производстве полупроводниковых приборов широко применяют унифицированную серию конвейерных электропечей сопротивления с водородной средой типа СКН, которые выпускают на базе типовых деталей и узлов. Конструктивно вся серия печей позволяет для одинаковых по сечению рабочих размеров печей собирать их из блоков.

Наряду с электропечами непрерывного действия для пайки изделий широко используют колпаковые, элеваторные и в некоторых случаях шахтные печи (табл. 1, 2, 3).

Колпаковые печи выпускают с одним или двумя рабочими колпаками.

3. Технические данные шахтных электропечей для пайки изделий

Параметр	СКБ-3176А	СПЗ-25,50/10-ЛП	СПЗ-8,40/10	Г-65	Г-95А
Мощность, кВт	285	600	336	65	95
Максимальная температура, °C	900	1000	1100	1300	1300
Размеры рабочего пространства, мм	1350× ×3000	2500× ×5000	800× ×4000	300× ×1600	300× ×2350
Масса изделий, кг	2500	15 000	2000	—	—
Габаритные размеры печи, мм	5180× ×3020× ×930	10 500× ×7 300× ×8400	4730× ×2730× ×8220	—	—
Масса печи, кг	23 000	50 000	18 500	—	—

Высокую производительность процессов пайки достигают при использовании двухколпаковой водородной электропечи СКБ-7001А мощностью 40 кВт с программным управлением, которая работает при температурах до 1200 °С и снабжена электромеханическим приводом перемещения колпаков, системой автоматического регулирования режимами пайки по заданной программе.

Для пайки изделий в водородной среде применяют элеваторную электропечь сопротивления СКБ-7018М большой производительности:

Технические данные электропечи СКБ-7018М:

Мощность, кВт	260
Максимальная температура, °С	1750
Размеры рабочего пространства, мм:	
диаметр	500
высота	500
Давление газа в печи, Па	588
Напряжение питающей сети, В	380/220
Расход водорода, м³/ч	1
Расход охлаждающей воды, м³/ч	3
Масса паяемых изделий, кг	100

Для пайки крупногабаритных изделий при температурах до 1300 °С в контролируемой среде применяют шахтные электропечи со специальными контейнерами, в которые подается газовая среда.

Конструкции жестких контейнеров показаны на рис. 1. Контейнер (рис. 1, а), герметизированный засыпкой 2, например, из кварцевого песка, состоит из собственно контейнера 4, крышки 3 и трубопроводов 1 для подачи и отвода газовой среды. В контейнере, показанном на рис. 1, б, после загрузки узлов крышку приваривают к фланцу контейнера. На рис. 1, в изображен жесткий контейнер 4 с водоохлаждаемой крышкой 3, уплотненной эластичной прокладкой. Патрубок 1 представляет собой систему из двух трубок различного диаметра (одна в другой), по которым осуще-

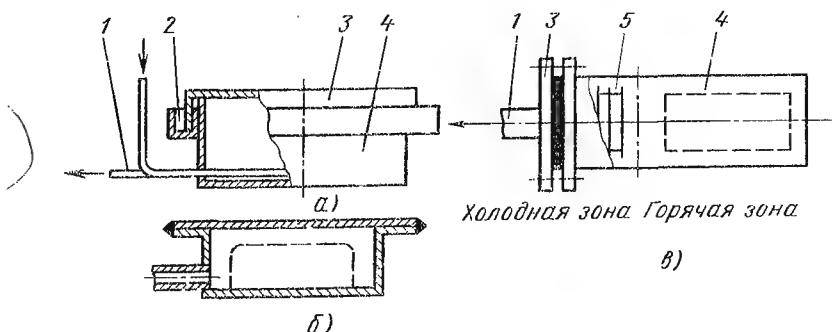


Рис. 1. Жесткие контейнеры для пайки изделий в контролируемой среде

4. Технические данные камерных электропечей

Тип печей	Установленная мощность, кВт	Номинальная температура, °С	Размеры рабочего пространства (длина × ширина × высота), мм
СНЗ-3.6.2/10М1	14	1000	600×300×200
СНЗ-4.8.2.5/10М1	25	1000	800×400×250
СНЗ-6.12.4/10М1	58	1000	1200×600×400
СНЗ-8.16.5/10М1	81	1000	1600×800×500
СНЗ-4.8.2.5/12М1	19	1200	800×400×250
СНЗ-6.12.4/12М1	52	1200	1200×600×400
СНЗ-8.16.5/12М1	71	1200	1600×800×500
СНО-3.6.2/10М1	14	1000	600×300×200
СНО-3.6.2/10И2	14,6	1000	600×300×250
СНО-4.8.2.5/10М1	25	1000	800×400×250
СНО-4.8.2.5/10И2	25	1000	800×400×250
СНО-6.12.4/10М1	58	1000	1200×600×400
СНО-6.12.4/10И2	71	1000	1200×600×400
СНО-8.16.5/10М1	81	1000	1600×800×500
СНО-8.16.5/10И2	81	1000	1600×800×500

ствляются подача и отвод среды. Для уменьшения нагрева уплотнения на фланце контейнера установлены теплоизоляционные экраны 5. Температура при пайке регистрируется с помощью термопар, введенных в объем контейнера через газоотводную трубу [1].

Для пайки применяются также камерные электропечи (табл. 4). Камерные электропечи изготовляют унифицированной серии СНО и СНЗ с металлическими нагревательными элементами, номинальной температуры до 1000 и 1200 °С, для широкой номенклатуры изделий в воздушной и контролируемых средах [2]. Электропечи исполнения М1 укомплектованы понижающими трансформаторами для питания нагревательных элементов. Эти печи рекомендуют использовать при режимах работы в три смены, так как они имеют массивные нагревательные элементы и более надежны в эксплуатации.

Электропечи исполнения И2 — для одно- и двухсменной работы, занимают меньшую площадь, питаются непосредственно от сети. Эти печи не могут работать с применением контролируемых сред, срок службы их нагревателей меньше, чем в печах исполнения М1.

Камерные электропечи сопротивления СНЗ-11.22.7/12-Б3 и СНЗ-11.22.7/12-Б4 укомплектованы специальным загрузочным устройством. Эти печи позволяют паять изделия длиной более 2 м при температурах до 1200 °С.

Вакуумные электропечи. Вакуумные электропечи конструктивно выполняются непрерывного и периодического действия (колпаковые, элеваторные, муфельные, безмуфельные и др.).

Б. Технические данные колпаковых вакуумных электропечей

Параметр	Одноколпаковая ИО59.010	Двухколпаковая	
		ЛМ-3206	ЛМ-4100
Потребляемая мощность, кВт	80	20	25
Рабочая температура, °С	2500	1200	1200
Материал нагревателей	Вольфрам	Молибден	Графит
Вакуум, Па	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-3}$	2,67
Размеры рабочего пространства, мм	150×500	230×435	—
Габаритные размеры, мм	2500×1000× ×3500	2000×1400× ×3000	1850×1350× ×3220

Для пайки изделий из активных и труднопаяемых материалов в контролируемых средах применяют колпаковые печи периодического действия (табл. 5).

Наряду с колпаковыми применяют вакуумные элеваторные и шахтные электропечи (табл. 6, 7).

Для высокотемпературной пайки изделий из титановых и других активных металлов и сплавов применяют вакуумные шахтные электропечи типа СШВ с экранной теплоизоляцией без керамической футеровки. Например, электропечь СШВЛ-0,6,2/16Э-М1 может быть использована также для пайки изделий в среде аргона, а печь СШВЛ-1.2,5/25-МО4 — для пайки в среде водорода.

В качестве нагревателей в вакуумных электропечах применяют элементы из нихрома, хромелей и др., а также используют графит и тугоплавкие металлы (вольфрам, молибден, тантал), основные параметры которых приведены в табл. 8.

Средства откачки. Для создания вакуума в объемах электропечей или контейнеров применяют вакуумные насосы (табл. 9, 10): механические типа ВН для получения остаточного давления в диапазоне 1,33—0,13 Па, диффузионные для получения остаточного давления $1,3 \cdot 10^{-3}$ — $1,3 \cdot 10^{-6}$ Па.

Вакуумные насосы типа ВНЗ предназначены для замены вакуумных насосов типа ВН. Их применяют для откачки вакуумных систем по воздуху, неагрессивных газов, паров и парогазовых смесей, предварительно очищенных от капельной влаги, механических загрязнений.

Вакуумные золотниковые насосы НВЗ-20, НВЗ-75 и НВЗ-150 — одноступенчатые параллельного действия. Насосы НВЗ-50Д, НВЗ-100Д золотниковые, двухступенчатые последовательного действия. Смазка насосов циркуляционная, насос и электродвигатель смонтированы на общей фундаментной плите.

Промышленность выпускает также вакуумные агрегаты типа ВА, представляющие собой в комплексе диффузионный насос и

6. Технические данные вакуумных элеваторных электропечей

Параметр	СЭВ-2.4/20-М02	СКБ-7050	СЭВ-5.5/16Э-М1	СЭВ-8.8/16Э-М1	СЭВ-11.5.5/16Э-М2
Установленная мощность, кВт	250	140	340 *	510	535
Номинальная температура, °С	2000	2000	2000	1600	1600
Вакуум, Па	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Размеры рабочего пространства (диаметр × высота), мм	200 × 400	300 × 300	500 × 500	800 × 800	110 × 550
Расход охлаждающей воды, м³/ч	20	3	16	16	17
Габаритные размеры печи, мм	4000 × 3750 × 4750	—	6400 × 4190 × 5790	9150 × 4900 × 6300	5560 × 4180 × 6100
Масса печи, кг	7500	4600	15 000	30 200	16 500

* При работе с водородной средой установленная мощность 445 кВт.

7. Технические данные вакуумных шахтных электропечей

Параметр	СШВ-11.38,5/9Э-М1	СШВ-15.15/13Э-М2	СШВЛ-0.6,2/16Э-М1	СШВЛ-1.2,5/25М-04
Мощность, кВт:				
установленная	565	550	10	63
камеры нагрева	500	485	8	60
Рабочая температура, °С	900	1300	1600	2500
Вакуум, Па	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Размеры рабочего пространства, мм	1100 × 4000	500 × 1500	60 × 200	100 × 250
Максимальная масса плавяемых изделий, кг	4000	2000	0,5	10
Расход охлаждающей воды, м³/ч	19	22	0,5	2,8
Габаритные размеры печи, мм	9250 × 5425 × 5970	7300 × 6740 × 4700	1400 × 1075 × 1630	2200 × 1720 × 1965
Масса печи, кг	19 500	39 200	650	1300

8. Материалы нагревательных элементов вакуумных электропечей

Параметр	Молибден	Тантал	Вольфрам	Графит
Максимальная температура нагрева в вакууме, К (°C)	1973 (1700)	2473 (2200)	2573 (2300)	2473 (2200)
Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	0,043	0,139	0,00493	7,190— 10,785
Температура плавления, К (°C)	2873 (2600)	3273 (3000)	3653 (3380)	3973 (3700)
Температура начала контактных реакций, К (°C) *:				
с углеродом	1573 (1300)	1273 (1000)	1773 (1500)	—
с окисью магния	1873 (1600)	2073 (1800)	2273 (2000)	2073 (1800)
с окисью циркония	2473 (2200)	1873 (1600)	1873 (1600)	1873 (1600)
с окисью бериллия	2173 (1900)	1873 (1600)	2273 (2000)	2573 (2300)
с двуокисью тория	2173 (1900)	2173 (1900)	2473 (2200)	2273 (2000)
Плотность, кг/м³	10 200	16 600	19 340	2200

* Температура относится к химически чистым материалам.

9. Основные технические показатели вакуумных насосов типа ВН

Параметр	ВН-461М	РВН-20	ВН-2Г	ВН-1НГ	ВН-4Г	ВН-6Г
Средняя скорость откачки при давлении 1 Па, л/с	0,81	3,3	7,0	18,3	59,0	155,0
Предельный вакуум, Па	0,13	0,67	0,40	0,40	0,67	1,33
Потребляемая мощность, кВт	0,6	0,6	1,7	2,8	7,0	18,0

10. Основные технические параметры вакуумных насосов типа НВЗ

Параметр	НВЗ-20	НВЗ-50Д	НВЗ-75	НВЗ-100Д	НВЗ-150
Скорость откачки (входные давления $1,06 \cdot 10^5$ — $1,33 \cdot 10^2$ Па), л/с, не менее	20	50	75	100	150
Предельный вакуум, Па:					
с учетом паров рабочей жидкости	6,67	$6,67 \cdot 10^{-1}$	6,67	$6,67 \cdot 10^{-1}$	6,67
парциальное (по воздуху)	$6,67 \cdot 10^{-1}$	$6,67 \cdot 10^{-2}$	$6,67 \cdot 10^{-2}$	$6,67 \cdot 10^{-2}$	$6,67 \cdot 10^{-2}$

Продолжение табл. 10

Параметр	НВЗ-20	НВЗ-50Д	НВЗ-75	НВЗ-100Д	НВЗ-150
Предельный вакуум, Па: с учетом паров рабочей жидкости при напуске газобалласта	$1,06 \cdot 10^3$	1,33	$1,06 \cdot 10^3$	1,33	$1,06 \cdot 10^3$
Мощность, кВт	1,9	6,0	8,0	9,5	12,0
Объем масла на одну заправку, л	2,5	10,0	14,0	20,0	28,0
Охлаждение	Воздух	Вода	Вода	Вода	Вода
Объемная подача охлаждающей воды при $T = 293 \text{ K}$ (20°C), $\text{м}^3/\text{ч}$	—	0,6	0,6	1,3	1,3

Примечания: 1. Парциальное давление паров воды на входе в насос $2,34 \cdot 10^3$ Па.

2. Наибольшее рабочее давление $2 \cdot 10^4$ Па.

3. Предельная температура масла в насосе 80°C .

11. Технические данные вакуумных агрегатов

Параметр	ВА-01-1	ВА-05-1	ВА-5-1	ВА-8-4
Средняя скорость откачки при давлении $(1,3 \div 2,7) \cdot 10^3$ Па $\text{дм}^3/\text{с}$	50	250	2200	4000
Расход охлаждающей воды, $\text{дм}^3/\text{с}$	0,014	0,033	0,110	0,140
Рекомендуемый насос для предварительной откачки	ВН-461М РВН-20	ВН-2Г	ВН-1МГ	ВН-1МГ

12. Технические данные вакуумных затворов

Параметр	СПЛПТ80	СПЛПТ150	СПЛПТ250	СПЛПТ500
Мощность электродвигателя, кВт	0,03	0,03	0,12	0,12
Диаметр условного прохода, мм	80	150	250	500
Время открытия (закрытия), с, не более	15	32	20	34
Натекание воздуха (атмосферного) внутрь затвора, л·Па/с, не более	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Усилие на маховике привода в момент уплотнения, Н, не более	20	22	25	42
Расход охлаждающей воды, л/ч	120	120	240	240

13. Технические данные вакуумных затворов

Параметр	ЗВЭ-100	ЗВЭ-160	ЗВЭ-250	ЗВЭ-400	ЗВЭ-630
Мощность электродвигателя, кВт	0,063	—	0,1	0,2	0,4
Диаметр условного прохода, мм	100	160	250	400	630
Время открытия (закрытия), с, не более	20	25	30	35	50
Натекание воздуха (атмосферного) внутрь затвора, л·Па/с, не более	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Проводимость (теоретическая) в молекулярном режиме, л/с	1200	3340	13 400	46 250	14 600

вакуумный затвор, обеспечивающий различные скорости откачки (табл. 11).

Вакуумные затворы и вентили. Вакуумные затворы (табл. 12) предназначены для разделения коммуникаций сверхвысоковакуумных электропечей с давлением до $1,8 \cdot 10^{-3}$ МПа.

Наряду с этим применяются затворы типа ВЗЭ (табл. 13).

Для соединения или перекрытия отдельных частей вакуумных систем служат вентили различных конструкций [3].

Приборы для измерения и контроля вакуума. Для измерения малых абсолютных давлений применяют манометры, а для измерения остаточных давлений — вакуумметры. Термопарные вакуумметры типа ВТ-2А и ВТ-2А-П представляют собой устройства, состоящие из термопарного манометра, схемы для питания нагреваемой термопары и прибора, измеряющего ЭДС. Термопарный вакуумметр выполняют в двух вариантах: ВТ-2А — переносный прибор настольного типа, ВТ-2А-П — панельный. Диапазон измеряемого давления разделяется на два поддиапазона: 133,3—26,7 и 26,7—0,13 Па.

В первом поддиапазоне вакуумметр рассчитан на работу с термопарой: манометрической лампой ЛТ-2 или ионизационной манометрической лампой ЛМ-2.

Для измерения давлений в диапазоне $1,3 \cdot 10^{-3}$ — $1,3 \cdot 10^{-10}$ Па применяют ионизационные вакуумметры типа ВИ-12, где использован косвенный метод измерения тока, а измеряемое давление определяется по градуировочной кривой, отражающей зависимость давления от силы ионного тока.

Для измерения более низких давлений применяют манометрическую лампу ИМ-12.

14. Основные технические данные агрегатов и электропечей для пайки и термообработки в контролируемой среде

Агрегаты и электропечи, входящие в их состав	Мощность номинальная, кВт	Рабочая температура, К
СНЦА-5.10.5/3-01	350	1223
СНЦ-5.10.5/10	108	1223
СНЦА-5.10.5/7-С1 *	396	1223
СНЦА-3.5.3/3-С1	142	1223
СНЦ-3.5.3/10	37	1223

* В состав агрегата входят печи СНЦ-5.10.5/10 и МНП-5.10.5/1.

В вакуумметр ВИ-12 входит выносной блок, а на передней панели размещены ручки управления и два стрелочных прибора для измерения тока коллектора и тока эмиссии, ионизационного манометрического преобразователя ИМ-12. Прибор позволяет производить запись давлений, для чего на задней стенке имеется разъем «Запись» для подключения самопишущего прибора. Вакуумметр ВИ-12 рассчитан для работы при температуре 283—378 К. Питание вакуумметра осуществляется от сети 220 В, 50 Гц. Потребляемая мощность — не более 280 Вт. Габаритные размеры прибора 420×300×232 мм.

Специализированные печи для пайки. При массовом изготовлении режущего инструмента применяют комплект печного оборудования и агрегатов для механизированной пайки и термообработки в контролируемой среде. В комплект оборудования входят камерные механизированные электропечи серии СНЦ и агрегаты СНСА универсального назначения (табл. 14).

Для последовательного проведения операций пайки в вакууме и термической обработки (закалка в масле или ускоренное охлаждение в контролируемой среде) за один цикл служит элеваторная электропечь СВЭ-3.3/11,5 ФМ2.

Технические характеристики элеваторной печи СВЭ-3.3/11,5ФМ2:

Установленная мощность печи, включая вспомогательное оборудование, кВт	34
Напряжение, В:	
питающей сети	380
на нагревателях	132
Рабочая температура, К (°С)	1423 (1150)
Остаточное давление, Па	0,13
Масса загрузки изделий, т	0,05
Расход охлаждающей воды, м³/ч	1,5
Размеры рабочего пространства, мм:	
диаметр	300
высота	300

Для пайки изделий применяют также индукционные муфельные электропечи.

Применение этих электропечей промышленной частоты позволяет проводить пайку в вакууме, контролируемой среде и на воздухе с использованием флюсов.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Ламповые генераторы преобразуют электрический ток промышленной частоты в ток высокой частоты, поступающий в индуктор. Индукционную пайку выполняют с использованием высокочастотных генераторов и установок типов ВЧГ и ВЧГЗ, предназначенных специально для пайки, а также для закалки (табл. 15). Генераторы мощностью 4 кВт следует использовать для поштучной низкотемпературной пайки. На генераторах мощностью 10 кВт паяют металлорежущий и буровой инструмент с поперечным сечением в зоне пайки до 5,0 см², а также тонкостенные ферромагнитные изделия. Установки мощностью 25—60 кВт, частотой 440 кГц применяют для поштучной, групповой и механизированной пайки преимущественно тонкостенных изделий. Установки частотой 66 кГц более универсальны, и их широко применяют для пайки.

Наибольшее распространение получили установки мощностью 60 кВт. Генераторы, имеющие колебательную мощность 100 и 160 кВт, применяют при высокотемпературной пайке крупногабаритных изделий с наружным диаметром 140—200 мм. Эти генераторы используют при механизированной пайке, когда необходим запас мощности для создания интенсивного магнитного поля в зоне пайки при движении нагреваемых изделий через относительно длинные проходные индукторы. Для пайки изделий, имеющих суммарную площадь поверхности в зоне пайки до 20 см², следует применять установку ВЧИ-25/0,44 (табл. 16).

В промышленности находят применение индукционные полуавтоматические установки с использованием ламповых преобра-

15. Технические данные генераторов с ламповым преобразователем

Параметр	ВЧГЗ-4/1,76	ВЧГ4-10/0,44	ВЧГ1-25/0,44	ВЧГ6-60/0,44
Мощность, кВт	4	10	25	60
Частота рабочая, МГц	1,76	0,44	0,44	0,44
Мощность, потребляемая от сети, кВт	6,8	15,5	33,0	87
КПД, %	70	74	87	75
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	0,75	1,2	1,0	2,2

16. Технические данные установок высокочастотных типа ВЧИ

Параметр	ВЧИ-10	ВЧИ-25/0,44	ВЧИ-63/0,44	ВЧИ-100/0,066
Мощность, кВт	10	25	63	100
Частота рабочая, МГц	0,44	0,44	0,44	0,066
Расход охлаждающей воды, м³/ч	1,2	1,5	3,3	7,5

зователей, например на базе генератора ЛЗ-13 полуавтомат ВЧИ5-10/0,44.

Технические характеристики полуавтомата ВЧИ5-10/0,44:

Мощность, кВт	10
Частота, МГц	0,44
Температура пайки, °С	160
Напряжение питающей сети, В	220
Напряжение на индукторе, В	140—165
Расход охлаждающей воды, м³/ч	2
Расход сжатого воздуха, м³/ч	0,08
Производительность, число паяк в час	40

Для массового выпуска паяных конденсаторов используют полуавтоматы ВЧИ1-10/0,44 и ВЧИ3-10/0,44 (табл. 17).

Для осуществления индукционной вакуумной пайки с нагревом ТВЧ используют схему, показанную на рис. 2. В случае пайки ТВЧ изделий в контролируемой атмосфере (рис. 3) взамен колпака используют контейнер 4 с песчаным уплотнением 5, многovitковый индуктор 1, подставку 3. После продувки контейнера защитным газом до полного удаления воздуха включают высокочастотный генератор. Температуру нагрева в контейнере контролируют термопарой, установленной непосредственно на паяемом изделии 2. Процесс пайки легко поддается автоматизации.

17. Технические данные полуавтоматов для индукционной пайки конденсаторов

Параметр	ВЧИ1-10/0,44	ВЧИ3-10/0,44
Мощность, кВт	10	10
Частота, МГц	0,44	0,44
Температура пайки, °С	135—235	135—235
Напряжение питающей сети, В	220/380	220/380
Расход охлаждающей воды, м³/ч	2,0	2,5
Расход сжатого воздуха, м³/ч	3,6	3,6
Производительность, число паяк в час	140	225

18. Технические данные установок с машинными генераторами

Параметр	ИЗ1-30/8	ИЗ4-100/8	ИЗ2-100/8	ИЗ2-200/8
Мощность, кВт	30	100	100	200
Рабочая частота, Гц	8000	8000	8000	8000
Максимальное напряжение на индукторе, В	74	—	246	246
Площадь максимальной нагреваемой поверхности, см ²	25	200	200	400

Установки с машинными преобразователями частоты. Машинный генератор обеспечивает токи частотой 2—15 кГц, он состоит из электродвигателя трехфазного тока и соединенного с ним генератора. Для пайки применяют различные индукционные установки с машинными генераторами (табл. 18).

Специализированные индукционные установки для пайки. К специальному оборудованию относят установки, обеспечивающие кроме теплового режима пайки давление на соединяемые поверхности с заданным усилием.

На этих установках давление выбирают таким, при котором можно обеспечить плотный контакт соединяемых элементов, выдавливание жидкой фазы из зоны шва, получение заданных геометрических размеров, а также минимальные остаточные напряжения в паяных конструкциях. Например, пайку выполняют на установке А306.08 в среде водорода с нагревом ТВЧ от лампового генератора ИО.60.011 мощностью 25 кВт с давлением 3,0 МПа.

Для высокотемпературной пайки изделий сложной конфигура-

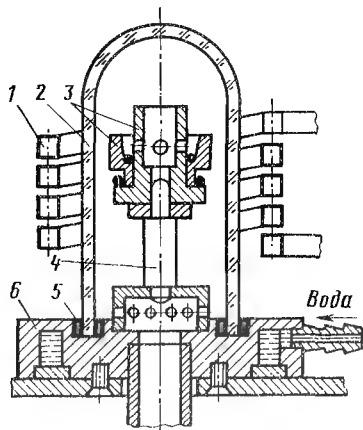


Рис. 2. Схема пайки ТВЧ в вакууме:

1 — многослойный индуктор; 2 — колпак из кварцевого стекла; 3 — паяемое изделие; 4 — подставка; 5 — уплотнение; 6 — охлаждаемый фланец

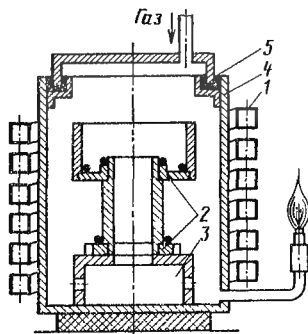


Рис. 3. Схема пайки ТВЧ в контейнере с контролируемой газовой средой

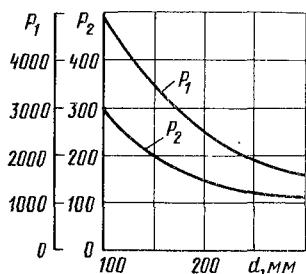
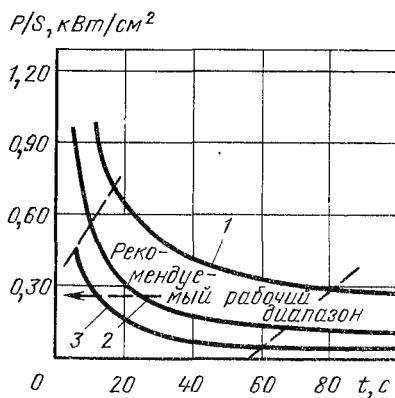


Рис. 4. Зависимость допустимой поверхностной мощности (кВт/м^2) от диаметра нагреваемых изделий при индукционном нагреве токами промышленной частоты:

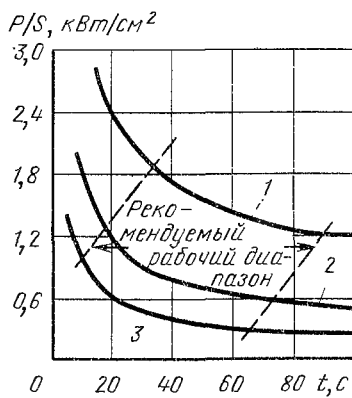
P_1 — для сталей аустенитного класса; P_2 — для сталей ферритного класса

ции под давлением используют установку У-184М, в частности, для изготовления паяных лопаток газовых турбин в вакууме с последующим их соединением с диском. Ускоренный нагрев ТВЧ, особенно массивных деталей, сопровождается большими перепадами температур по сечению, в результате чего возникают значительные термические напряжения, вызывающие деформации и трещины. При обработке режимов пайки необходимо определять допустимые поверхностные мощности (рис. 4).

Выбор параметров индукционных установок. Основными параметрами установки для индукционной пайки являются колебательная мощность генератора и частота тока, при определении которых исходят из размеров и формы нагреваемого изделия, материалов, температуры пайки, объема производства и т. д. В свою очередь колебательная мощность должна покрыть полезную мощность на нагрев деталей, тепловые потери, электрические потери в индукторе, электрические потери по пути передачи энергии от зажимов генератора до зажимов индуктора. Кривые для определения колебательной мощности генератора при сквозном нагреве различных материалов исходя из требуемых производи-



а)



б)

Рис. 5. Колебательная мощность генератора на 1 см^2 сечения шва:

а — низкотемпературная пайка; б — высокотемпературная пайка; 1 — медь; 2 — латунь и бронза; 3 — стали и немагнитные сплавы

тельности и температуры приведены на рис. 5. Значения номинальных колебательных мощностей высокочастотных установок установлены нормами: 0,16; 0,25; 0,40; 0,63; 1,0 кВт и т. д., получаемыми умножением этих величин на 10, 100 и 1000. Рабочие частоты установок также регламентированы. При выбранной рабочей частоте для пайки легко определить оптимальные режимы работы установки. После определения требуемой минимальной колебательной мощности генератора следует принять ближайшее большее значение по стандартной шкале мощностей [4].

Значения КПД генератора установлены в зависимости от рабочей частоты:

Рабочая частота, МГц	1	1—30	30
КПД	0,65	0,6	0,5

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПАЙКИ ПОГРУЖЕНИЕМ

Установки для пайки погружением в расплавленный припой. Пайку погружением в расплавленные припои разделяют на низкотемпературную. В свою очередь низкотемпературная пайка погружением в припой имеет две разновидности: погружением непосредственно в расплав припоя и волной или струями припоя.

Наиболее широко используют для лужения и пайки изделий электрованны, представляющие собой корпус из коррозионно-стойкой стали, в котором размещен расплавленный припой.

Для производства печатных плат созданы линии, выполняющие комплекс операций: нанесение флюса, предварительный подогрев, нанесение припоя, удаление его излишков, мойку и сушку. На таких автоматических линиях печатные платы укладывают в магазин обрабатываемой поверхностью вниз и прижимают грузом. С помощью подающих роликов по направляющим они перемещаются над рабочими узлами линии, вначале над ванной, где флюс с 5%-ным раствором соляной кислоты наносится вращающимися щетками. Затем припой (сплав Розе) наносят волновым способом с помощью индукционного нагревателя. В ванне с расплавленным припоем установлен ракель из термостойкой резины для снятия его излишков.

Установки для пайки погружением в расплавы солей. В соляных ваннах изделия нагреваются непосредственно или косвенно. При непосредственном нагреве в зависимости от состава солей изделия паяют с применением припоев и без припоя. В последнем случае роль припоя выполняют продукты реакции самой соли с паяемым материалом.

В случае косвенного нагрева изделия помещают в контейнер, объем которого заполняют контролируемой газовой средой.

19. Технические данные соляных печей-ванн для высокотемпературной пайки

Параметр*	С-50	В-20	С-45	С-35	СКБ-5152
Номинальная мощность, кВт	50	20	45	35	120
Максимальная рабочая температура, °С	600	850	1300	1300	1300
Размеры тигля, мм	600×900	Ø 300	Ø 340	220×420	950×250
Глубина тигля, мм	450	535	600	—	475
Производительность, кг/ч	100	80	200	30	140

* Напряжение сети 220/380 В.

Печи-ванны по конструктивному оформлению подразделяют на тигельные, электродные однофазные с циркуляцией соли, прямоугольные электродные и электродные трехфазные (табл. 19).

Пайку металлоемких изделий производят в прямоугольных печах-ваннах С-50, СКБ-5152 и др.

Для пайки изделий в интервале температур 850—1200 °С используют печи-ванны типа СВС-100/13 исполнения М.01, которые обладают высокой производительностью и рекомендуются для крупносерийного и массового выпуска изделий.

Для пайки изделий из стали, меди и ее сплавов в соляных ваннах используют смеси солей, приведенные в табл. 20.

20. Составы смеси солей для пайки погружением, %

NaCl	BCl ₃	CaCl ₂	Другие компоненты	Рабочая температура, °С
—	100	—	—	960—1300
20	80	—	—	1200
22,5	77,5	—	—	660—1300
30	70	—	—	710—1300
—	85	—	15 SrO ₂	1300
—	—	—	50 KCl; 50 Na ₂ CO ₃	670—1000
—	—	—	50 Na ₂ CO ₃ ; 50 K ₂ CO ₃	930—950
40	50	—	10 Na ₂ B ₄ O ₇	930—950
22	30	48	—	485—900
30	65	—	5 KCl	570—900
33	—	67	—	570—900
22	48	—	30KCl	605—900
—	50	50	—	655—900
27,5	—	72,5	—	870
50	—	50	—	870
21	31	48	—	850
35	—	25	40 KCl	870
—	50	50	—	850
—	—	—	100 NaNO ₃	600

21. Технические данные циркуляционных печей аэродинамического подогрева

Параметр	ПАП-2	ПАП-3
Мощность электродвигателя, кВт	14	50
Частота вращения, об/мин	1460	1470
Максимальная температура, °С	400	550
Размеры рабочего пространства, мм:		
длина	1500	3000
диаметр	1000	—
ширина	—	1100
высота	—	1600

При пайке погружением в расплавах солей с целью стабилизации температуры необходим предварительный подогрев изделий; для этого применяют камерные электропечи, индукционный нагрев, а также специальные нагревательные печи типа ПАП (печи аэродинамического подогрева). Технические характеристики некоторых печей приведены в табл. 21.

Специальные установки для пайки погружением. Для пайки активных металлов герметичный контейнер с изделиями, в который подается контролируемая среда, погружают в ванну с расплавленной солью, нагретой до заданной температуры. При таком способе можно осуществлять пайку не только в газовой среде, но и в вакууме. Если в первом случае представляется возможным использовать контейнер с песочным затвором и неполным погружением, то при пайке изделий в вакууме контейнер выполняют цельносварным либо со съёмным фланцем для полного или частичного его погружения.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПАЙКИ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕМ

Ручные паяльные клещи. Ручные клещи для пайки электросопротивлением нашли применение для соединения сравнительно немассивных деталей. При больших объемах выпуска изделий из разнотолщинных элементов или конструкций из материалов, имеющих разные теплофизические свойства, чаще всего применяют сварочное оборудование — машины для контактной сварки.

Машины для пайки электросопротивлением. Для пайки изделий в зависимости от толщин соединяемых элементов и теплофизических свойств материалов применяют различные сварочные машины (табл. 22).

В зависимости от свойств паемых материалов и размеров соединяемых элементов подбирают соответствующие электроды. Наибольшее распространение получили угольные электроды марок

22. Технические данные однофазных точечных машин переменного тока

Параметр	МТ-1222	МТ-1223	МТ-1617	МТ-1618
Мощность, кВт	60	85	110	100
Сила первичного тока, А	154	224	296	264
Сила сварочного тока, кА	12,5	12,5	16,0	16,0
Пределы изменения коэффициента трансформации	83—166	56—125	60—89	56—125
Вылет электродов, мм	500	500	500	500
Максимальный раствор электродов, мм	220	300	370	320
Усилие сжатия, Н	6180	15 680	6180	6180
Общий ход электрода, мм	80	100	50	80
Расход воздуха, м ³ /10 ² циклов	0,6	0,6	0,8	0,6
Расход охлаждающей воды, л/ч	600	700	700	700

Примечание. Напряжение сети при частоте 50 Гц 380 В.

ЭГ-2, ЭГ-8 и др., а также электроды из хромистой меди, вольфрама и жаростойких сплавов.

Специальные установки для пайки электросопротивлением. Специализированный пресс К602 применяется для пайки электросопротивлением уплотнительных колец с корпусами вентилях трубопроводной арматуры. Номинальная первичная мощность прессы 730 кВт, вторичное напряжение холостого хода изменяется ступенчато в пределах 4,75—9,50 В, максимальная сила тока во вторичной цепи до 100 кА, усилие сжатия плат регулируемое (6—50 МН). Последовательность и регулирование продолжительности всего цикла процесса пайки обеспечиваются тиристорным регулятором времени РВУ-200.

Пайка концов секций к петушкам коллектора осуществляется на автомате АПК-1.

Технические характеристики автомата АПК-1

Мощность трансформатора, кВт	50
Напряжение питающей сети, В	380
Габариты паяемых изделий, мм:	
диаметр	50—200
длина	25—200
толщина ламели	1,5—10
Цикл пайки одной ламели, с	1—3

Гибридные интегральные схемы паяют методом плавления покрытия-припоя в полуавтоматическом режиме на установке МС-64П2-1. Установка обеспечивает регулируемое давление электрода на колонку нагревателя в диапазоне 1—10 Н, нагрев электрода в пределах 150—450 °С. Производительность установки около 1000 кристаллов в час.

Для пайки сравнительно простейших по конфигурации узлов (сверл, штуцеров и т. д.) используют установку Э-10.

Технические характеристики установки Э-10

Потребляемая мощность, кВт	до 10
Напряжение питающей сети, В	380
Диаметр паяемых узлов, мм	до 40
Производительность, шт/ч	до 200
Состав электролита	8—10%-ный водный раствор Na_2CO_3
Сменность электролита, число раз в год	4—6

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПАЙКИ КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

Пайка материалов с использованием концентрированных источников энергии (инфракрасного излучения и излучения лазера, сфокусированного светового и электронного луча) является одним из важнейших направлений развития ряда областей техники. Основное преимущество этого способа — отсутствие тепловой инерции источника, локальность и быстрота нагрева и вытекающая отсюда возможность точного регулирования параметров процесса пайки.

Установки с инфракрасным излучением. Тепловое (инфракрасное) излучение с длинами электромагнитных волн 0,4—40 мкм применяют при различных способах нагрева под пайку, в том числе и локальном, где тепловой поток сконцентрирован.

Для высокотемпературной пайки изделий из тонкостенных деталей сравнительно простой формы применяют установки с кварцевыми лампами. В зависимости от конфигурации и конструкции паяемых изделий рефлекторы с кварцевыми лампами устанавливают с одной или нескольких сторон. Такие установки могут быть с нагревом в вакууме, в контролируемой и воздушной средах. В последнем случае установки используют для соединения деталей легкоплавкими припоями из-за ограниченной стойкости кварцевого стекла ламп при нагреве до высоких температур на воздухе.

В зависимости от конструкций нагревательных установок применяют кварцевые иодные лампы накаливания в различном исполнении. Наиболее часто используют прямые лампы инфракрасного нагрева.

В качестве источников лучистой энергии наряду с лампами могут служить металлические радиационные нагреватели. Так, например, на многопозиционной установке типа УПТ для пайки тонкостенных трубопроводов металлический нагреватель выполнен разъемным и охватывает непосредственно место соединения.

Технические характеристики установки типа УПТ:

Максимальная рабочая температура, °C	1250
Продолжительность нагрева соединения до максимальной температуры, мин	3
Установленная мощность, кВт	25
Число нагревательных постов	6
Расход контролируемой среды (аргона), мм ³ /ч	0,12—0,30
Ультразвуковая частота, кГц	1
Максимальный наружный диаметр паяемых труб, мм	42

Электронно-лучевые установки. Процесс пайки электронным лучом основан на использовании энергии ускоренных электронов, быстро перемещающихся в вакууме в результате разности потенциалов между катодом и анодом. При торможении ускоренных электронов вблизи паяемой поверхности их кинетическая энергия превращается в тепловую. Процесс характеризуется кратковременностью и высоким КПД.

Пайку узлов из керамики и тугоплавких металлов с местным нагревом осуществляют с применением электронно-лучевых установок с пушкой типа У250А.

Для пайки изделий с местным нагревом применяют установки типа ЭЛУ-4 с пушкой ЭЦ-60/10. Для исключения перегрева и оплавления кромок изделия, а также обеспечения равномерного прогрева зоны пайки электронный пучок колеблется в результате подачи на отклоняющую систему пушки импульсов синусоидальной или пилообразной формы от генератора НГПК-3М.

Для пайки стальных теплообменников трубчатого типа применяют установку ЭЛН-11, нагрев осуществляется сканирующим лучом.

Технические характеристики установки ЭЛН-11:

Мощность, кВт	30
Максимальная сила тока луча, мА	500
Температура пайки, °C	До 2200
Вакуум в рабочей камере, Па	$6,7 \cdot 10^{-3}$
Время откачки, мин	20
Рабочее ускоряющее напряжение, кВ	30
Размеры рабочего пространства, мм:	
длина	1340
ширина	1200
высота	900

Установка «Луч-3» предназначена для пайки трубчатых конструкций из высокоактивных металлов и сплавов с нагревом кольцевым электронным пучком, получаемым в высоковольтном тлеющем разряде при температурах до 2000 °C.

Технические характеристики установки «Луч-3»:

Потребляемая мощность, кВт	15
Ускоряющее напряжение, кВ	20
Сила тока пучка, мА	300

Температура в зоне пайки, °С	До 2000
Предельный вакуум в рабочей камере, Па	0,13
Время откачки, мин	5
Давление инертного газа, Па	17,73
Расход охлаждающей воды, м³/ч	0,5
Максимальные размеры паяемых узлов, мм:	
диаметр	60
длина	950

Лазерные установки. Излучение оптического квантового генератора (лазера) характеризуется рядом уникальных свойств: большой интенсивностью потока электромагнитной энергии, высокой монохроматичностью, значительной степенью временной и пространственной когерентности. Вследствие этого лазерное излучение отличается от других источников электромагнитной энергии очень узкой направленностью.

В зависимости от конструктивных особенностей и массы паяемых изделий, а также свойств соединяемых материалов используют лазерные установки различной мощности (табл. 23).

Установки для пайки световым лучом. Концентрированный нагрев, сфокусированный лучистой энергией, обладает рядом преимуществ, основными из которых являются бесконтактный подвод энергии к изделиям за счет удаления источника от объекта нагрева, возможность передачи энергии через оптически прозрачные оболочки как в контролируемой среде, так и в вакууме и, что особенно важно для процессов пайки, нагрев различных материалов независимо от их электрических, магнитных и других свойств с широкими пределами регулирования и управления параметрами.

Оптический источник теплоты, представляющий собой эллипсоидный отражатель в сочетании с дуговой ксеноновой лампой, наиболее перспективен для пайки изделий с регулированием энергетических параметров за счет изменения формы и размеров пятна нагрева.

Для пайки узлов электровакуумных приборов используют установки с оптической головкой, выполненной на базе ксеноновой газоразрядной лампы высокого давления ДКсР-5000М мощностью 5 кВт.

Максимальная температура, получаемая в фокусе оптической системы установки, составляет 1400—1600 °С, диаметр фокальной области 6—15 мм, продолжительность процесса пайки 3—5 мин. В установке могут быть использованы также лампы ДКсР-3000М и ДКсШ-1000, которые имеют меньшую мощность.

Устройства для пайки электрической дугой. Высокая температура электрической дуги позволяет использовать ее для пайки проводов, узлов, приборов и двигателей, а также ленточных пил и других узлов с большой скоростью и этим самым предотвратить окисление припоя и металла шва. Дуга может гореть между двумя

23. Технические данные лазерных установок, используемых для пайки

Технические данные	К-3М	УЛ-2М	Луч-1М	УЛ-20	Квант-10
Мощность, кВт	1,0	2,5	3,0	5,0	12,0
Полная излучаемая энергия при снятом объективе, Дж, не менее	1,5	8,0	2,0	20	10
Длительность импульса, мс	—	1; 3; 6; 8	—	1; 3; 6; 8	10-20
Источник оптической накачки (импульсная лампа)	ИФП-800	ИФП-1200	ИСПТ-8000	ИФП-2000	ИФП-5000
Подсвет кристалла и микроскопа (лампа накалив- ния, мощность, напряжение)	—	СИ-61	СИ-61	СИ-61	СИ-61
	6,3 В	8 В, 20 Вт	8 В, 20 Вт	8 В, 20 Вт	8 В, 20 Вт
Оптически активный материал (кристалл) *	CP $D = 6,6$, $l = 80$	CP $D = 7$, $l = 120$	CP $D = 7$, $l = 120$	CP $D = 11,5$, $l = 120$	ПГЛС-1 $D = 10$, $l = 260$

* Оптически активный материал обозначен: CP — синтетический рубин; D — диаметр, мм l — длина, мм.

П р и м е ч а н и е. Напряжение питания 220 В, допустимое отклонение 10%, частота 50 Гц.

угольными электродами, закрепленными в оправках приспособления, с подводом в нее паяемых узлов небольших размеров или между угольным электродом и паяемым изделием.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОПЛАМЕННОЙ ПАЙКИ

Горючие газы и пары. Для получения пламени при газопламенной пайке используют горючие газы и пары, указанные в табл. 24.

Паяльные горелки. Горелки — устройства для получения пламени необходимых тепловой мощности, размеров и формы. Образование пламени происходит за счет смешения горячего газа или паров горючих жидкостей с кислородом или воздухом и их сгорания на выходе из мундштука.

По расходу горючего газа (ацетилен) горелки разделяют на микромощные (10—60 дм³/ч), средней мощности (50—2800 дм³/ч) и большой мощности (2800—7000 дм³/ч). По назначению горелки различают: универсальные и специализированные, однопламенные и многопламенные; по способу применения: ручные и для механизированных работ.

Для паяльных работ широко применяется инжекторная горелка типа

24. Свойства горючих газов и паров

Горючий	Плотность, кг/м ³ (для газа), кг/л (для паров)	Нижняя теплота сгорания, кДж/м ³ (кДж/кг)	Темпера- тура пла- мени, °С	Необходимое количество кислорода на 1 см ³ горючего, м ³
Ацетилен	1,179	47 916	3150	2,5
Метан	0,715	35 542	2000	2,0
Пропан	2,0	85 875	2050	5,0
Бутан	2,7	112 500	2050	6,5
Водород	0,0898	10 708	2100	0,5
Природный газ	0,7	—	2100	2,0
Нефтяной газ	0,776—1,357	43 750—45 833	2400	3,5
Пары бензина	0,69—0,76	(44 300)	2550	2,6
Пары керосина	0,80—0,84	(42 700)	2400	2,55

«Москва». Безынжекторную горелку микромощности ГС-1 применяют для низко- и высокотемпературной пайки изделий из различных материалов небольшой толщины.

К горелкам малой мощности относят инжекторные горелки «Малютка», ГС-2, «Звездочка», которые используют для ацетилено-кислородной пайки конструкций небольших размеров, изготовленных из черных и цветных металлов.

В производстве изделий средних размеров целесообразно использовать инжекторные универсальные ацетилено-кислородные горелки «Москва», ГС-3, «Звезда», которые работают на ацетилене низкого и среднего давления и соединяются шлангами с внутренним диаметром 9 мм. В случае применения пропан-бутана с кислородом используют наконечники от горелки ГЗУ-2-62 без подогревающих камер и подогревателей. При использовании пропан-бутановой кислородной горелки ГЗУ-2-62 применяют односплошные наконечники, имеющие подогреватели камеры. Пропан-бутановая кислородная горелка ГЗМ-2-62М укомплектована только односплошными наконечниками меньших размеров, которые укрепляются на стволе горелки «Малютка», ГС-2 или «Звездочка». Наконечники имеют нагреватели и подогревающие камеры.

Для работы на газах-заменителях ацетилена с кислородом используют ствол стандартной горелки ГС-53, к которому присоединяют специальные наконечники НЗП. Размеры отверстий в мундштуках, инжекторах и смесительных камерах наконечников НЗП подобраны таким образом, чтобы обеспечить для каждого его номера эффективную мощность пламени, эквивалентную тому же номеру наконечника, работающего на ацетилене.

Используют также пропано-воздушную горелку ГВП-2 с инжекцией воздуха из атмосферы. Горелка комплектуется тремя

наконечниками с расходом пропана от 60 до 300 л/ч при давлении 0,05—0,15 МПа. Максимальная температура пламени — 1600 °С.

Безынжекторную горелку микромощности ГС-1 применяют для низко- и высокотемпературной пайки изделий из различных материалов небольшой толщины.

Наряду с рассмотренными горелками для газопламенной пайки применяют и другие — типа СУ, которые используют с однопламенными и многопламенными мундштуками. Преимущество таких горелок в том, что они могут быть использованы при работе с ацетиленом, природным газом, нефтяным газом и другими газами — заменителями ацетилена.

Цилиндрические изделия паяют с применением головки многопламенной горелки МГ-120, которая состоит из ствола, смешительной камеры с надставкой и головки из двух половин, охлаждаемых водой. В случае пайки изделий прямоугольного сечения применяют многопламенную горелку МГ-ДС.

Для изготовления изделий круглого сечения и труб с наружным диаметром 30—170 мм и толщиной стенок 3—14 мм, стержней диаметром 30—120 мм используют кольцевые многопламенные горелки серии КГ с мощностью по расходу ацетилена от 0,75 до 15,0 м³/ч.

При газопламенной пайке практически невозможно избежать флюсовых включений в соединения вследствие того, что вязкие продукты флюсования не могут быть полностью вытеснены расплавленным припоем из зазоров. Поэтому более эффективно вводить газообразный флюс в зону пайки в процессе нагрева. Для этой цели используют специальные установки, например ФГФ-1-56, которая состоит из флюсопитателя и осушителя.

Технические характеристики флюсопитателя ФГФ-1-56:

Вместимость резервуара, л:	
рабочего	2,4
запасного	2,0
Давление ацетилена, МПа	0,005
Давление кислорода, МПа	0,35—0,40
Пропускная способность (наконечники горелки № 0—7), л/ч.	50—2500
Расход флюса при пропусканнии ацетилена, г/м³.	70

Одной загрузки флюсопитателя достаточно для насыщения парами флюса 55 м³ ацетилена.

Устройства для пайки с использованием жидкого горючего. Для пайки различных изделий применяют горелки, работающие на жидком горючем (керосине, бензине) в смеси с кислородом или воздухом. Такие горелки работают по принципу распыления кислородом или воздухом жидкого горючего с его последующим испарением и сгоранием на выходе.

Керосино-кислородная горелка ГКР-1-67 (табл. 25) комплектуется тремя однопламенными и двумя сетчатыми мундштуками.

25. Технические данные горелки ГҚР-1-67

Параметр	Номер мундштука			
	1	2	3	4
Давление, МПа:				
керосина	0,15—0,3	0,15—0,3	0,15—0,3	0,15—0,3
кислорода	0,2—0,4	0,3—0,5	0,3—0,5	0,4—0,5
Расход:				
керосина, кг/ч	0,3—0,6	0,5—1,1	0,7—1,5	1,2—2,3
кислорода, м³/ч	0,5—1,0	0,8—1,6	1,1—2,3	1,7—3,2
Толщина паяемых деталей, мм	1—3	3—5	5—8	—

обеспечивающими широкий диапазон регулирования мощности пламени по расходу горючего (0,3—3,4 кг/ч).

Наряду с горелкой для жидких горючих в производстве паяемых изделий небольших размеров, а также в условиях монтажа подземных коммуникаций кабельных силовых линий связи с использованием легкоплавких припоев применяют паяльные лампы.

Механизированные установки для газопламенной пайки. Традиционно механизация и автоматизация газопламенной пайки развивались по принципу замены ручного труда при нагреве изделий. Горелки во всех случаях устанавливают стационарно в положе-

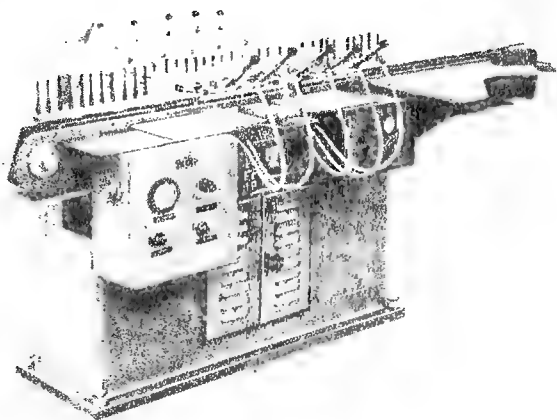


Рис. 6. Установка фирмы ELJA (ФРГ) конвейерного типа

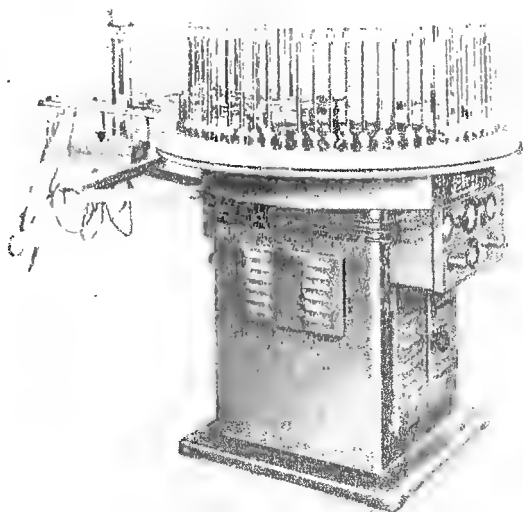


Рис. 7. Установка фирмы ELJA (ФРГ) роторного типа

ниях наиболее эффективного использования мощности пламени, а изделия могут быть введены в зону нагрева на определенное время либо могут перемещаться через нее с заданной скоростью с помощью специальных транспортирующих устройств.

Автоматизация процесса нагрева при газопламенной пайке с перемещением изделий транспортирующими устройствами может быть выполнена в различном конструктивном исполнении.

На установке с неподвижным размещением горелок и перемещением паяемых узлов на подвижном конвейере через зону нагрева (рис. 6) температурно-временной диапазон пайки изделий определяется скоростью движения конвейера, которую можно регулировать в широких пределах.

Для пайки изделий со сравнительно большой массой и требующих более продолжительного нагрева целесообразно использовать механизированные установки четырехтактного действия, которые по своей конструкции схожи с установками роторного типа (рис. 7) и отличаются от них наличием четырех рабочих мест, последовательно перемещающихся в горячую зону с заданным временным тактом [5].

ПАЯЛЬНИКИ

Паяльники электрические. Электрические паяльники отличаются небольшими размерами и массой и представляют собой стержень из меди или специального медного сплава, имеющего

26. Технические данные электрических паяльников

Параметр	Номер паяльника					
	1	2	3	4	5	6
Напряжение сети, В	220	127	36	24	12	6
Потребляемая мощность, Вт	80	80	150	80	80	80
Сила тока, А	0,36	0,73	6,45	3,3	6,7	13,3
Диаметр паяльного стержня, мм	5	5	8	5	5	5

Примечания: 1. Материал нагревателя — нихромовая проволока.
 2. Температура нагрева нагревателя — 700 °С.
 3. Температура жала паяльника — 280 °С.
 4. Срок службы нагревателя — 200 ч.

электронагреватель с изолятором. Электронагреватель расположен с внешней стороны стержня или внутри его, изготовлен он из материала с большим электрическим сопротивлением; подачу теплоты в рабочую часть стержня-жала сравнительно легко регулировать изменением входного напряжения [6].

Электрические паяльники изготавливают с различными напряжением питающей сети и мощностью (табл. 26).

Конструктивное исполнение электропаяльников различно для пайки печатного монтажа, для пайки массивных узлов, демонтажа с импульсным отсосом припоя, лужения и припайки штырей и лепестков, пайки термочувствительных элементов, микросхем и т. д. (табл. 27). Нагревательные элементы преимущественно выполняют в виде спирали или петли, которые для повышения ресурса работы иногда покрывают глазурью.

27. Технические характеристики паяльников

Параметр	Паяльники для печатного монтажа				Микропаяльники		
	промыш- ленный	унифициро- ванный	ПЭТ-50	МЭП12-30	МЭП6-4	МЭП6-6	МЭП6-18
Напряжение, В	200	24; 36	36	12	6	6	6
Мощность, Вт	50—90	35	50	30	4	6	18
Тепловой КПД, %	8—12	30	12	25	50	50	25
Диаметр стержня, мм	4—10	3—8	4 и 6	3—12	3—6	3—8	3—10
Рабочая температура, °С	260—340	280	200—300	270	270	270	270
Масса, г	270—340	80	120	235	40	75	125

28. Технические данные ультразвуковых электропаяльников

Параметр	УП-21	УП-42
Рабочая частота, кГц	20	23—26
Мощность, Вт:		
генератора	40	30
нагревателя	100	170
Напряжение, В	110; 127; 220	220
Частота питающего тока, Гц	50	50
Масса, кг:		
генератора	14	11
паяльника	1,0	0,9

Примечание. Установку УП-21 комплектуют ванной размерами 288×200×162 мм.

Оборудование для ультразвукового и абразивного лужения. Ультразвуковое лужение применяют для покрытия поверхностей алюминия и его сплавов, керамики, ферритов, сталей и других материалов легкоплавкими припоями. Абразивное лужение используют в некоторых случаях для нанесения легкоплавких припоев на поверхности алюминиевых деталей.

Для ультразвукового лужения применяют ультразвуковые паяльники или ультразвуковые ванны (табл. 28).

Для ультразвукового лужения часто используют паяльники без нагревателей. При работе с ними в качестве источника теплоты применяют газопламенные горелки, электрические плиты и другие источники. Особенно эффективен этот способ для лужения алюминиевых изделий под пайку.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ НАГРЕВА

Термитные шашки нагрев проводится за счет горения термитной смеси.

Нагревательные блоки — нагрев места пайки происходит от массивных блоков, предварительно нагретых или имеющих внутри себя нагреватели.

Электронагревательные маты (стеклоткань с вмонтированными электронагревателями) применяются для пайки изделий сложной конфигурации; используются в производстве панелей с сотовым наполнителем [7, 8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гржимальский Л. Л., Ильевский И. И. Технология и оборудование пайки. М.: Машиностроение, 1979. 240 с.
2. Пузрин Л. Г., Бойко Г. А., Атрошенко М. Г. Автовакуумная высокотемпературная пайка. Киев: Знание, 1975. 20 с.

3. Александрова А. Т. Оборудование электровакуумного производства. М.: Энергия, 1974. 385 с.
4. Справочник по пайке /Под ред. И. Е. Петрунина. М.: Машиностроение, 1984. 400 с.
5. Beckert M., Neumann A. Grundlagen der Schweisstechnik (Löten). VER VERAJ TECHNIK, Berlin, 1971. 224 с.
6. Кривошей А. В., Бельцев А. Н. Пайка и сварка в производстве радио-электронной аппаратуры. М.: Энергия, 1974. 238 с.
7. Берсудский В. Е., Крысии В. Н., Лесных С. И. Технология изготовления сотовых авиационных конструкций. М.: Машиностроение, 1975. 282 с.
8. Оснащение самолетного и ракетного производства. Пер. с англ./Под ред. С. А. Вигдорчика. М.: Машиностроение, 1967. С. 165—167.

ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ К ПАЙКЕ

ПОДГОТОВКА К ПАЙКЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Термическая очистка. Удаление с паяемой поверхности различного рода неметаллических загрязнений можно проводить ацетилено-кислородной или керосино-кислородной горелками, дающими широкий факел пламени. Для удаления окалины и изоляции этот способ очистки сочетается с последующей обработкой металлическими щетками.

Очистка поверхности деталей от оксидных и неметаллических включений может проводиться в восстановительной среде или в вакууме.

Механическая очистка. Этот метод очистки создает шероховатую поверхность, что улучшает условия капиллярного течения припоя. В качестве инструмента могут быть использованы металлические щетки, напильники, шаберы, шлифовальная шкурка. Очистка металлическими щетками весьма производительна, рекомендуется для алюминиевых и магниевых сплавов.

Для механизированного удаления изоляции можно использовать автоматические установки.

Очистку поверхности мелких деталей и удаление заусенцев проводят в галтовочных барабанах.

Весьма эффективными и экономичными методами очистки является гидropескоструйная и дробеструйная обработка. Для очистки рекомендуется использовать кварцевый песок или абразивный порошок. Процесс осуществляется в специальной гидropескоструйной камере. Желательно, чтобы частицы имели острые грани для создания шероховатости поверхности.

Химическая очистка проводится путем обезжиривания и травления с последующей промывкой в воде.

Обезжиривание проводится с целью очистки от остатков жировых загрязнений. Рекомендации по химическому обезжириванию поверхности материалов перед пайкой приведены в табл. 1, 2 [1].

Не рекомендуется обезжиривать в растворах щелочей детали из материалов, химически реагирующих с щелочами (цинк, алюминий, свинец и др.), или детали, имеющие на поверхности места, облученные оловянно-свинцовыми припоями [1].

Консервирующие смазки с изделий со сложной конфигурацией поверхности, с внутренними полостями и глубокими отверстиями удаляют с помощью органических растворителей. Бензин хорошо растворяет жиры и масла. Парами ацетона пользуются для очистки деталей из алитированных металлов.

1. Состав ванны, г/л, для химического обезжиривания

Компоненты	Очищаемые металлы		
	Сталь и чугун	Медь и ее сплавы	Алюминий и его сплавы
Едкий натр	15—30	5—10	10
Углекислый натрий	10—25	15—30	50—60
Тринатрийфосфат	10—65	30—60	—
Эмульгатор ОП-7	0,5	0,5	—
Жидкое стекло	10—25	—	30

В крупносерийном и массовом производстве детали очищают от жира дихлорэтаном, трихлорэтаном, трихлорэтиленом и др. Эти растворители хорошо поддаются регенерации.

Трихлорэтилен склонен к разложению под действием света, особенно при перегреве. Для повышения химической устойчивости трихлорэтилена в ванну вводят стабилизатор (уротропин, диэтиламин).

Методом погружения обрабатывают детали тонкого сечения и сильно загрязненные маслом и полировальными пастами. В парах растворителя обрабатывают крупногабаритные и малозагрязненные изделия.

Более совершенным является комбинированный способ обезжиривания в парах и погружением в ванну. Иногда для обезжиривания применяют эмульсии на основе органических растворителей (табл. 3).

Для обезжиривания изделий сложного профиля применяется электрохимическое обезжиривание. Оно рекомендуется для изделий из стали, меди и ее сплавов, алюминия и его сплавов. Составы

2. Состав ванны, г/л, и режимы химического обезжиривания

Компоненты	Очищаемые материалы		
	Никель и его сплавы * ¹	Свинец и его сплавы * ¹	Керамические материалы * ²
Едкий натр	10—20	5—10	—
Углекислый натрий	25—30	—	20
Жидкое стекло	3—5	2—3	—
Тринатрийфосфат	—	100	10
Эмульгатор ОП-7	—	—	3

*¹ Температура 60—70 °С, выдержка 3—5 мин.

*² Температура 50—60 °С, выдержка 5—10 мин.

электролитов для электрохимического обезжиривания приведены в табл. 4.

Ультразвуковое обезжиривание целесообразно для очистки мелких деталей от жира, ржавчины, оксидных пленок, абразивных и полировальных паст.

Составы моющих средств при ультразвуковом обезжиривании приведены в табл. 5.

Качество обезжиривания поверхности деталей контролируют с помощью радиоактивных изотопов, фотометрическим способом, а также способом, основанным на изменении интенсивности флуоресценции при облучении ультрафиолетовыми лучами обезжиренных поверхностей.

Химическое травление. Составы ванн для химического травления приведены в табл. 6—8.

Электрохимическое травление. Для ускорения операции очистки деталь помещают в качестве анода (анодное травление) или катода (катодное травление) в электролитическую ванну. Составы растворов и режимы электрохимического травления приведены в табл. 9—11.

Травление с применением ультразвука. Ультразвуковая очистка деталей во много раз производительнее химического травления. В качестве травителя используются растворы кислот.

После обработки детали необходимо промыть.

Комбинированное обезжиривание и травление. Этот вид обработки применяют с целью предварительной очистки деталей от продуктов коррозии, оксидов и жировых загрязнений. Составы ванн для комбинированной обработки стали и чугуна приведены в табл. 12.

Обеспечение сохранности поверхности. Поверхность деталей, подготовленная к пайке, может быть сохранена от окисления нанесением на нее флюсов-лаков (для изделий печатного монтажа) или полимерной пленки, которая при нагреве перед пайкой разлагается без остатка (полимеры оксидов, толуол, сополимер формальдегида с диоксаланом).

Контроль качества подготовки поверхности. Для оценки качества подготовки поверхности к пайке может быть использована методика, основанная на изучении растекания припоя при смачивании паяемой поверхности жидкостью. Время растекания и крайний угол смачивания припоя позволяют количественно оценить качество подготовки поверхности.

В производстве микроэлектронных устройств постоянно повышаются требования к чистоте поверхности и стабильности ее состояния. Разработан прибор, позволяющий быстро проводить бесконтактные неразрушающие измерения контактной разности потенциалов (КРП). Измерение КРП выполняется ионизационным

3. Составы эмульсий для комбинированного обезжиривания

Компоненты	Содержание, %	Компоненты	Содержание, %
Дистиллированная жирная коксовая кислота	12	Мыльный раствор триэтанол-аминолота	25
Масляная кислота	22	Трихлорэтилен	75
Триэтанолламин	17		
Диэтиленгликольмонобутилен	15	Керосин	3
Углекислый газ (температура кипения 180 °C)	20	Эмульгатор ОП-7	1
Вода	14	Вода	96

4. Составы электролитов, г/л, для электрохимического обезжиривания

Компоненты	Очищаемые материалы	
	Сталь	Медь и ее сплавы
Едкий натр	30—40	35—40
Тринатрийфосфат	—	20—25
Углекислый натрий	50—75	20—25
Жидкое стекло	—	3—5
Эмульгатор ОП-7	3—6	—

Компоненты	Очищаемые материалы		
	Алюминий и его сплавы	Магний и его сплавы	Сплавы цинка
Едкий натр	—	15—20	—
Тринатрийфосфат	20	15—20	40—50
Углекислый натрий	20	10—15	—
Жидкое стекло	—	—	15—20
Цианистый натрий	—	—	10—15

5. Составы моющих сред при ультразвуковом обезжиривании

Компоненты	Содержание, г/л	Очищаемые металлы	Компоненты	Содержание, г/л	Очищаемые металлы
Едкий натр	15	Сталь *	Силикат натрия	10	Медь, цинк, алюминий
Хромпик калиевый	1,5		Сода	4	
			Тринатрийфосфат	6	
Едкий натр	5—10	Сталь, медь, латунь	Тринатрийфосфат	5—10	Алюминий, цинк
			Эмульгатор ОП-7	3	
Сода	15—30		Тринатрийфосфат	5	Магний и его сплавы
Тринатрийфосфат	30—60		Сода	5	
Эмульгатор ОП-7	3—5		Эмульгатор ОП-7	3	

* Очистка с одновременным пассивированием.

6. Составы ванн для химического травления сталей и цветных материалов

Компоненты	Содержание, г/л	Назначение
Углеродистые стали		
Серная кислота	150	Для деталей без окис- лины
Присадка КС	2	
Хлористый натрий	4	
Коррозионно-стойкие стали		
Соляная кислота	25	Удаление окислины
Азотная кислота	5	
Ингибитор	—	
Хромоникелевые стали		
Соляная кислота	500—550	Удаление оксидов
Азотная кислота	70—80	
Присадка КС	1,8—2,2	
Хромистые стали		
Соляная кислота	150—155	Удаление оксидов
Азотная кислота	7—8	
Присадка КС	0,12—0,15	
Молибден и вольфрам		
Селитра калиевая	Насыщенный раствор	Удаление оксидов
Титан		
Азотная кислота (плотность 1,4)	100 *1	Удаление оксидов
Титан и его сплавы		
Азотная кислота	90 *1	Удаление оксидов
Плавиковая кислота	20 *1	
Серебро		
Серная кислота	90 *1	Удаление оксидов
Азотная кислота	10 *1	
Никель и его сплавы		
Уксусная кислота ледяная	700 *2	Подготовка поверхно- сти
Азотная кислота	300	
Соляная кислота	300	

Продолжение табл. 6

Компоненты	Содержание, г/л	Назначение
<i>Медь и ее сплавы</i>		
Серная кислота	12,5	Удаление окалины
Натрий двухромовокислый	1—3 * ²	
<i>Золото и его сплавы</i>		
Серная кислота	12,5 * ¹	Удаление оксидов
<i>Алюминий и его сплавы</i>		
Едкий натр	20—35	Удаление оксидов
Углекислый натрий	20—30	
<i>Магний и его сплавы</i>		
Уксусная кислота	175	Удаление оксидной пленки
Азотнокислый натрий	50	

*¹ Объемные доли, %.*² Содержание в мл.*³ Массовые доли, %.

7. Составы ванн для травления олова, свинца, цинка, кадмия и их сплавов

Компоненты	Содержание, %	Назначение
Азотная кислота	50—100	Удаление оксидов олова, цинка, свинца, кадмия
Серная кислота	30—100	Удаление оксидов цинковых сплавов

8. Составы ванн и режимы для подготовки кварца к химическому никелированию

Номер операции	Компоненты	Содержание, г/л	Время выдержки, мин
1	Фтористоводородная кислота Фтористый аммоний	38 12	1—2
2	Хлористое олово Соляная кислота	10 45	1—2

Продолжение табл. 8

Номер операции	Компоненты	Содержание, г/л	Время выдержки, мин
3	Хлористый палладий	0,1—0,5	3
4	Гипосульфат натрия	30	2—3

9. Составы электролитов для электрохимического травления при 20 °С

Компоненты	Содержание, мл	Очищаемый материал
Серная кислота (плотность 1,84)	500	Никель, молибден, ковар
Вода	500	
Серная кислота (плотность 1,84) *1	750	Коррозионно-стойкая сталь
Вода	250	
Натрий азотнокислый	500	Молибден, вольфрам
Вода дистиллированная	500	
20%-ный раствор едкого натра (плотность 1,2—1,3)	500	
Две последовательные операции:		Медь
1. Серная кислота	100	
Вода дистиллированная	900	
2. Ортофосфорная кислота (плотность 1,5—1,7)	—	Сталь коррозионно-стойкая, никель *2
Ортофосфорная кислота (плотность 1,7)	65%	
Серная кислота (плотность 1,84)	15%	
Хромовый ангидрид	5%	
Глицерин	12%	
Вода дистиллированная	3%	
20%-ный раствор едкого натра (плотность 1,2—1,3)	100%	Черные и цветные металлы

*1 Плотность в г/см³.

*2 Температура электролита 45—70 °С.

10. Составы электролитов для электрохимического травления углеродистой стали

Компоненты	Содержание, г/л	Назначение
Анодное травление		
Хлористый натрий	50	Для деталей, имеющих небольшую окалину
Хлористое железо	160	
Соляная кислота	10	
Катодное травление		
Серная кислота	50	Анод кремнистый, чугун или сплав свинца с сурьмой
Соляная кислота	30	
Хлористый натрий	20	

11. Составы электролита для травления легированной стали

Компоненты	Содержание, г/л
<i>Анодное травление</i>	
Серная кислота	50
Едкий натр	500
Серная кислота	80—100
<i>Травление переменным током</i>	
Серная кислота	35—40
Азотная кислота	25—30

12. Составы ванн для комбинированной обработки стали и чугуна

Компоненты	Содержание, г/л
<i>Сталь</i>	
Ортофосфорная кислота	100—300
Эмульгатор ОП-7 или ОП-10	3—5
Тиомочевина	3—5
<i>Чугун</i>	
Серная кислота	100
Соляная кислота	50
Эмульгатор ОП-7	5

методом с применением источника альфа-излучения. Этот способ дает возможность проводить количественную оценку загрязненности поверхностей.

ПОДГОТОВКА К ПАЙКЕ ПОВЕРХНОСТИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Окисление поверхности. Для обеспечения смачивания и паяемости низкокобальтовых твердых сплавов (карбид вольфрама — кобальт и карбид вольфрама — карбид титана — кобальт) [2] проводится окисление при 800 °С в течение 10—30 мин.

После охлаждения на воздухе оксидная пленка на поверхности пластин должна иметь бурый цвет и толщину 0,3—0,4 мм.

Для обеспечения пайки необходимо удалить образовавшуюся оксидную пленку. Эта операция проводится во вращающемся барабане из коррозионно-стойкой стали. Насыпной объем составляющих (объемные доли, %): пластины твердого сплава — 50, речной песок — 25, древесные опилки — 15, раствор каустической соды — 10. Промывка горячей водой и сушка.

Подготовка к пайке стекла. Стекланные заготовки, имеющие, как правило, форму цилиндров или дисков, выравнивают по кромкам с целью удаления неровностей и мелких трещин. Эта операция проводится шлифованием на чугунном диске с абразивным порошком. Загрязнения после шлифования удаляются промыванием в теплой подкисленной воде, затем в проточной воде с последующей сушкой в термостате. При наличии жировых и других трудносмываемых загрязнений стекло промывают в подогретой хромовой кислоте. В массовом производстве вместо шлифования торцов стеклянных трубок проводят оплавление их кромок на станках для обработки стекла.

При соединении меди со стеклом отрицательное влияние оказывают фосфор, сера, растворенная закись меди и адсорбированные газы.

Практически пригодность к пайке меди со стеклом определяется пробой: образец после очистки и травления нагревается на воздухе до 880 °С и выдерживается при этой температуре около пяти минут, после чего сразу опускается в холодную воду. Образование плотной матово-черной оксидной пленки свидетельствует о пригодности меди к пайке. В случае же образования рыхлой, шелушащейся пленки с трещинами медь непригодна к пайке со стеклом.

При пайке со стеклом поверхность металла должна быть обработана до шероховатости $R_z = 20$ мкм. Обеспечение требуемой чистоты поверхности может быть достигнуто за счет электролитического или химического полирования деталей.

Подготовка к пайке графита, керамики и полупроводников. С целью облегчения процесса пайки графита на его поверхность наносятся металлические покрытия легкоплавящихся металлов.

Для обеспечения пайки керамики на ее поверхность наносится молибдено-марганцевая паста путем вжигания во влажной азотно-водородной среде [3]. В результате процесса вжигания на поверхности керамики образуется слой молибдена.

При подготовке к пайке кремния или германия поверхность, подлежащую пайке, предварительно покрывают металлом (никелем, золотом) одним из известных способов (ультразвуком, гальванически).

Подготовка к пайке полупроводников типа халькогенидов (сурьмы и висмута) включает операции: удаление консервирующего

слоя парафина обезжириванием в бензине или четыреххлористом углероде с последующей промывкой; шлифование детали по поверхности, подлежащей пайке абразивной пастой до оптимальной толщины с целью снятия дефектных слоев, образовавшихся при разрезке полупроводника; обезгаживание поверхности полупроводников выдерживанием их в эксикаторе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по пайке/Под ред. И. Е. Петрунина. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1984. 400 с.
2. Ключко Н. А. Основы технологии пайки и термообработки твердосплавного инструмента. М.: Металлургия, 1981. 200 с.
3. Петрунин И. Е., Маркова Ю. Ю., Екатова А. С. Металловедение пайки. М.: Металлургия, 1976. 263 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ПАЙКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

ПАЙКА НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ И НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Высокотемпературную пайку низкоуглеродистых и низколегированных сталей выполняют медью, медно-цинковыми и серебряными припоями.

Оксидная пленка, образующаяся на поверхности низкоуглеродистых и низколегированных сталей, химически нестойкая. Она легко восстанавливается в атмосфере водорода, диссоциированного аммиака, в продуктах сгорания смесей воздуха с городским газом, пропаном, генераторным газом и др. При пайке горелками и в печах применяют буру, флюсы ПВ200, ПВ201 и ПВ209.

Распространенным методом является пайка медью в печи с восстановительной атмосферой [1, 2].

При пайке низколегированных сталей возникают затруднения, если они легированы алюминием. Для удаления оксидной пленки алюминия перед пайкой детали обрабатывают в растворе щелочи (NaOH), а в качестве газовой среды используют азот или аргон в смеси с трехфтористым бором.

При пайке закаленных низколегированных сталей возможен отжиг в процессе пайки, что ведет к снижению механических свойств сталей. Во избежание этого пайку ведут при температуре высокого отпуска (620 °C) с применением припоя ПСр 40 и флюсов ПВ209 или ПВ284Х, обеспечивающих получение высококачественных паяных соединений. Возможно совмещение нагрева под пайку с термообработкой. Применяемые в этом случае охлаждающие среды необходимо выбирать с учетом свойств основного металла. Для трубы размером 194×6 мм из стали 20 естественная скорость охлаждения 200—250 °C/мин, при охлаждении сжатым воздухом 495—650 °C/мин, водой 3000—3700 °C/мин. В качестве охлаждающей среды в данном случае рекомендован сжатый воздух, поскольку такой режим обеспечивает сохранение требуемых свойств паемого металла и соединения [3, 4, 5].

Пайку этих труб осуществляют железо-марганцевым припоем П-87 с флюсом ПВ201. Порошки припоя и флюса наносят распылением и закрепляют с помощью акрилового лака АС-82. Нагрев стыков до температуры пайки 1180 °C проводят ТВЧ (2400—8000 кГц), а охлаждают воздухом, сжатым до давления 0,4—0,6 МПа. Предел прочности соединений на срез достигает 400 МПа.

Пайку труб из низкоуглеродистой стали диаметром 219—426 мм с толщиной стенки 9—18 мм проводят встык с разделкой кромок 30°, нагревом ТВЧ (2400 Гц) при температуре 1180 °C (время

нагрева 60 с, время выдержки при температуре пайки 1—2 мин, осевое давление 0,05 МПа). В качестве припоя применяют пасту, состоящую из смеси порошка припоя П-87 (грануляцией 0,05—0,35 мм), флюса ПВ201 (до 15% от массы припоя) и 20% порошка стали 20; связующее — акриловый лак АС-82. Предел прочности соединений на срез 300—400 МПа.

Низкотемпературную пайку низкоуглеродистых и низколегированных сталей осуществляют оловянно-свинцовыми припоями с использованием в качестве флюсов водных растворов хлористого цинка.

В соединениях сталей, паянных припоями ПОССу 40—0,5, ПОС 61, оловом, на границе раздела припой — паяемый металл может образовываться прослойка хрупкой интерметаллидной фазы FeSn_2 , которая ослабляет шов. При пайке не следует допускать перегрев, так как это способствует увеличению толщины интерметаллидной прослойки, пористости паяных швов и снижению прочности соединений.

Наибольший предел прочности на срез (30—40 МПа) имеют соединения стали, паянные припоем ПОС 40 и ПОС 61.

ПАЙКА КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ

К коррозионно-стойким сталям относятся стали ферритные, легированные хромом и никелем, мартенситные и аустенитно-мартенситные, легированные ферритообразующими элементами (алюминием, титаном, молибденом и др.) при малом содержании углерода.

На поверхностях этих сталей образуются оксиды хрома, химически более стойкие, чем на нелегированных сталях. Поэтому пайка коррозионно-стойких сталей представляет значительные затруднения и требует выбора активных флюсов и газовых сред.

При низкотемпературной пайке коррозионно-стойких сталей оловянно-свинцовыми припоями обычные канифольно-спиртовые флюсы непригодны. В качестве флюсов рекомендуются канифольно-спиртовой раствор с добавками ортофосфорной кислоты (ЛМ1) или водный раствор хлористого цинка с добавками неорганических кислот (HCl , HF , HNO_3 , H_3PO_4), хлористых солей аммония, олова, меди. Указанные флюсы успешно применяются только при пайке паяльником или горелкой, когда флюс можно добавлять по мере надобности.

При печной пайке коррозионно-стойких сталей оловянно-свинцовыми припоями флюсы на основе хлористого цинка с добавками кислот неэффективны, поскольку при пайке в печи флюс не воспламеняется, и поэтому его оказывается недостаточно.

В расплавленном состоянии флюсы практически не активируют поверхность коррозионно-стойкой стали и не защищают от кисло-

рода воздуха. Паяемость коррозионно-стойких сталей облегчается за счет нанесения на соединяемые поверхности технологических покрытий: меди, никеля, серебра и других металлов.

Растекание оловянно-свинцовых и других легкоплавких припоев по стали можно улучшить за счет предварительного лужения паяемой поверхности этими же припоями. Лужение проводят с использованием активных флюсов путем последовательного погружения деталей во флюс и расплавленный припой. Припой можно наносить вручную путем лужения деталей паяльником или горелкой.

Оловянно-свинцовые припои на коррозионно-стойкие стали наносят и гальваническим методом, после чего деталь флюсуют и нагревают до температуры пайки. После лужения и пайки для удаления остатков коррозионно-активных флюсов детали кипятят или промывают в проточной воде. Остатки канифольно-спиртовых флюсов удаляют только с электросхем (тампоном, смоченным спиртом).

Высокотемпературную пайку коррозионно-стойких сталей проводят серебряными, медными, никелевыми и другими припоями. Стали, легированные хромом (более 18 %), титаном, алюминием и кремнием, при пайке их в вакууме и аргоне плохо смачиваются серебряными припоями ПСр72 и ПСр70. Улучшить растекание серебряных припоев можно за счет их легирования титаном (0,12%), цирконием (до 1%) или никелем (до 5%). Качественные соединения, паянные этими припоями, можно получить после нанесения на соединяемые поверхности барьерных слоев меди или никеля (15—25 мкм). Нанесение химического никеля недопустимо из-за образования на границе раздела покрытие — основной металл хрупких интерметаллидных фаз, ослабляющих швы при динамических нагрузках и в условиях низких температур. Соединения коррозионно-стойкой стали, паянные серебряными припоями, не содержащими никеля, склонны к щелевой коррозии во влажной атмосфере.

При пайке хромистых ферритных сталей рекомендуется припой с содержанием никеля до 3% следующего состава, %: Ag 50; Cu 15; Cd 16; Zn 16; Ni 3 (температура пайки 690—710 °C). Если ферритная коррозионно-стойкая сталь содержит менее 13% хрома, коррозии в паяных швах не возникает.

При пайке нестабилизированных коррозионно-стойких аустенитных сталей в интервале температур 500—750 °C возможна интеркристаллитная коррозия. Пайку деталей, содержащих малое количество углерода или стабилизированных карбидообразующими элементами (Nb, Ti), устраняющими склонность к интеркристаллитной коррозии после нагрева до температуры 620—680 °C, проводят с применением серебряных припоев.

При применении припоев, содержащих менее 30% серебра (ПСр 25, ПСр 12М), наблюдается растрескивание коррозионно-стойкой стали по границам зерен. Поэтому их не рекомендуют для пайки тонкостенных изделий и конструкций, находящихся в напряженном состоянии. Пайку таких конструкций проводят припоем ПСр 40 с флюсами ПВ284Х или ПВ209. При пайке в печах порошок припоя перемешивается с флюсом, разводится на ацетоне или спирте и наносится на места соединения.

Для пайки коррозионно-стойких сталей в качестве припоев применяют также чистую медь, которая хорошо смачивает сталь в среде аргона с трехфтористым бором (BF_3) при температуре 1150 °С. Для улучшения растекания по стали в аргоне медь легируют различными поверхностно-активными добавками: литием (0,15—0,3%), оловом (до 5%), марганцем, титаном, кремнием и др. [2].

Для пайки коррозионно-стойких сталей применяют латуни, временное сопротивление разрыву 360 МПа. При применении латуней в качестве припоев возможно проникновение латуни по границам зерен, что способствует хрупкому разрушению сталей под напряжением. Эффект проникновения усиливается при местном нагреве (горелка, ТВЧ) и при повторной пайке.

Пайку деталей из коррозионно-стойких сталей часто осуществляют медно-марганцевыми припоями, легированными литием, бором, железом, кремнием и др. Например, припой ВПр2 и ВПр4 хорошо растекаются по сталям 07Х16Н6, 08Х18Т1, 12Х18Н10Т, 08Х17Н13М2Т в среде проточного аргона или при пайке горелкой с флюсами ПВ200 и ПВ201. Соединения, паянные этими припоями, имеют временное сопротивление разрыву 200—300 МПа и могут кратковременно работать до температуры 600 °С.

Для работы изделий из стали 12Х18Н10Т в условиях криогенных температур до минус 269 °С хорошо зарекомендовал себя медно-марганцевый припой П-65, позволяющий получать паяные соединения с временным сопротивлением разрыву 280—330 МПа и пределом прочности на срез 230—260 МПа. Припой П-65 выпускается в виде ленты или листа толщиной 0,1—2,0 мм. Из листового припоя изготавливают закладные детали в виде шайб, колец, пластин.

Пайку изделий криогенной техники осуществляют в вакуумных печах при давлении $2 \cdot 10^{-2}$ — $5 \cdot 10^{-3}$ Па, температуре 990 ± 10 °С, выдержке 15 ± 3 мин, охлаждение вместе с печью.

Припой системы Cu—Ni—Si (ВПр1, ПЖ45-81) можно применять при пайке нагартованных коррозионно-стойких сталей.

Предел прочности на срез таких соединений равен 280 МПа, швы теплостойки до температуры 700 °С и хладостойки до температуры минус 196 °С.

Для пайки коррозионно-стойких сталей применяются припой на основе никеля системы Ni—Cr—Mn. Пайку проводят в среде аргона с трехфтористым бором.

ПАЙКА ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Трудности пайки жаропрочных сталей и сплавов обусловлены наличием на их поверхности прочных и плотных пленок, состоящих из оксидов хрома, титана, алюминия и других элементов. Эти оксиды обладают высокой термической и химической стойкостью, что вызывает необходимость выбора специальных флюсов и газовых сред для их удаления в процессе пайки.

Флюсы, содержащие бориды и фтористые соли, плохо удаляют оксиды хрома, поэтому более приемлемы смеси, в состав которых входят тетраборат натрия и фториды.

В качестве защитной атмосферы применяют сухие и очень чистые газы (аргон, гелий, водород, водород в сочетании с парами галлоидных солей хрома или марганца, фторированную атмосферу). Пайку в этом случае проводят в специальной камере. Под изделие помещают хлористые или фтористые соли хрома, марганца или других металлов. В верхней части камеры располагают гранулированный или порошкообразный хром, никель, марганец, которые служат для регенерации паров металла в атмосфере.

Для высокотемпературной пайки жаропрочных сталей применяют серебряные припои. Припой с содержанием серебра более 72% применяют для пайки сталей в вакууме или инертных газах по предварительно нанесенному барьерному слою никеля или меди. Припоями с меньшим содержанием серебра паяют стали без покрытий с помощью ТВЧ или газопламенного нагрева с флюсами ПВ209 или ПВ284Х. Применение в качестве припоев чистой меди и латуней Л63, ЛК 62—05 для пайки жаропрочных сталей ограничено ввиду проникновения их по границам зерен и образования трещин в основном металле [2, 6, 10].

Высокое качество паяных соединений обеспечивают медные припои ВПр1, ВПр2 и ВПр4. Пайку с этими припоями осуществляют всеми способами нагрева. Припой ВПр1 при пайке сталей при температуре 1180 °С в среде аргона, аргона и трехфтористого бора или в вакууме без флюса обеспечивает получение соединений, жаропрочных до температуры 600 °С.

Временное сопротивление разрыву соединений из сплава Х20Н80, паянных при температуре 1050 °С припоями на основе меди (массовая доля Мп—20%, Ni—19%), равно 270 МПа при 500 °С и 80 МПа при 750 °С.

Легирующими компонентами, способствующими повышению жаропрочности, служат хром, кремний, молибден.

Широко применяются припои системы Ni—Cr—В в виде порошков или паст, замешанных на органической связке (акриловая смола или толуол). Припои хорошо растекаются по жаропрочным сплавам в среде аргона, гелия или в вакууме $1 \cdot 10^{-2}$ Па. Паяные соединения обладают высокой жаропрочностью и коррозионной

стойкостью. Длительный отжиг, который совмещают с процессом пайки, повышает пластичность соединений за счет диффузии бора. Припой системы Ni—Cr—B активно взаимодействуют и растворяют паяемый материал, поэтому они непригодны для пайки тонкостенных конструкций.

Низкотемпературную пайку оловянно-свинцовыми припоями жаропрочных сталей и сплавов осуществляют паяльником, газопламенным нагревом или погружением в расплавленный припой. В качестве флюса применяют водный раствор хлористого цинка с добавками соляной кислоты.

ПАЙКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

При пайке составного инструмента (резцов, сверл, фрез, долбяков и т. д.) с державками из стали 40X или инструментальной типа У7 применяют медно-цинковые и серебряные припои. Нагрев под пайку осуществляют газовыми горелками, в печах, ТВЧ и в солевых ваннах.

Пайку инструмента в солевых расплавах ведут при температурах 1150—1200 °С, охлаждают на воздухе до 900—1000 °С, а затем охлаждают до 500—600 °С в ваннах с расплавом хлористых солей (массовая доля бария — 30%, натрия — 22%, кальция — 48%), после чего охлаждают на воздухе до комнатной температуры и промывают водой до полного удаления остатков солей.

При печной пайке пластину из быстрорежущей стали помещают в паз державки, флюсуют и загружают в камеру, нагретую до температуры 750—800 °С. После выгрузки из камеры подогрева закладывают припой, снова флюсуют и помещают в печь для пайки. Спаянные детали выгружают, охлаждают на воздухе, а затем при температуре 560 °С проводят отпуск, после чего инструмент очищают и проверяют качество пайки.

С использованием ТВЧ паяют зенкеры, развертки, метчики. Для инструмента диаметром до 7 мм применяют соединения внахлестку с косым срезом и втулкой. Пайку ведут в индукторе, изделие закрепляют в центрах и вращают [10, 11].

Пайка с помощью газопламенного нагрева рекомендуется только для термически обработанных стержневых инструментов диаметром не более 10 мм, рихтовку осуществляют в горячем состоянии.

ПАЙКА СПЕЧЕННЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Пайку твердосплавных пластинок с державкой можно осуществлять методами электросопротивления, нагревом ТВЧ, в печах с восстановительной средой и погружением в расплавленный припой или флюс.

При пайке инструмента электросопротивлением паяемые поверхности деталей подвергают пескоструйной обработке или травлению, флюсуют, собирают в узел, а припой укладывают сверху твердосплавной вставки. С целью равномерного прогрева деталей ведут ступенчатый нагрев, флюс добавляют по мере надобности. В момент расплавления припоя и формирования шва давление снижают, а затем поднимают снова до полной кристаллизации припоя.

При пайке нагревом ТВЧ важно правильно подобрать форму и размеры индуктора. Собранный узел, состоящий из офлюсованных деталей и припоя, помещается в индуктор таким образом, чтобы вначале преимущественно нагревался корпус инструмента, а затем соединяемые детали сдвигают к индуктору и догревают до температуры пайки. Во время пайки пластинку (если нет зажимного приспособления) поправляют фарфоровой или асбестовой палочкой. Спаянный инструмент укладывают на керамические подставки и охлаждают на воздухе. При охлаждении в печи или в подогреваемом песке инструмент подвергают отпуску при температуре 200—250 °C в течение 6 ч.

При пайке (вольфрамовых пластин со сталью 45) в печи с восстановительной атмосферой флюс не применяют. При пайке же титанокарбидовых пластин к любой стали требуется высокоактивный флюс. При этом фиксацию пластины к корпусу осуществляют шнуровым асбестом.

При пайке погружением в расплавленный припой совмещают пайку с термообработкой. Закалочной средой для сплавов марок ВК8 и Т15К6 служит расплав едкого калия (70%) и едкого натра (30%). Перед пайкой собранный узел обрабатывают в кипящем насыщенном водном растворе буры (для вольфрамовых пластин) или в 35%-ном водном растворе фтористого калия (для титанокарбидных пластин).

При пайке инструмента наибольшее распространение получили медно-цинковые припои типа латуни Л63, легированные для повышения теплостойкости никелем, марганцем или алюминием. В качестве флюса употребляют буру или буру с добавками ферромарганца, фтористого калия или борной кислоты. Для твердых сплавов WC—Co стандартные флюсы ПВ200 и ПВ201 применяются, но для сплавов группы WC—TiC—Co (Т15К6 и Т30К4) активность этих флюсов недостаточна. В этом случае применяют флюс, содержащий, %: KBF_4 46, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 36, WO_3 13, Co_2O_3 5. Этот флюс целесообразно применять для пайки в диапазоне температур 900—1100 °C при наличии вентиляции на рабочих местах [7].

Хорошие результаты при пайке инструмента обеспечивает припой ТП-1, представляющий собой триметаллическую полосу, полученную прокаткой. Плавящиеся в процессе пайки наружные слои толщиной 0,2 мм состоят из латуни марки ЛНМЦ 50-2-2

(температура плавления 872°C), внутренний слой не плавится и служит компенсирующей прокладкой. Слой выполнен из бронзы марки БрНБ7—0,5 толщиной 0,4 мм (температура плавления 1126°C).

При получении качественных паяных соединений, помимо припоя и флюса, требуется правильно выбрать сталь для корпуса инструмента, режим пайки и термообработки. Нагрев под пайку следует проводить ТВЧ на установках, имеющих частоту тока 2,5—8,5 кГц.

ПАЙКА ЧУГУНА

Наличие в структуре чугуна графита значительно затрудняет смачивание его расплавленным припоем. Для удаления графита обычно применяют пескоструйную обработку, выжигание окислительным пламенем газовой горелки или электрохимической обработкой в соляной ванне при $450\text{—}510^{\circ}\text{C}$.

Высокотемпературную пайку чугуна проводят припоями на основе меди, например латунями или специально разработанными припоями (ЛОМНА 49-05-10-4-0,4). При пайке этими припоями (температура $950\text{—}1050^{\circ}\text{C}$), а особенно чистой медью (температура 1150°C) возможен перегрев чугуна, приводящего к структурным изменениям — выделению при охлаждении хрупкого цементита.

Качественные швы без перегрева паемого металла (не выше температуры 900°C) можно получить при применении серебряных припоев, содержащих никель, и использовании стандартных активных флюсов ПВ209 и ПВ284Х. При этом предварительного удаления графита с паемых поверхностей не требуется.

Припой, содержащие фосфор (температура пайки до 800°C), не применяются из-за образования в швах хрупких железосфосфорных соединений.

Нагрев при пайке чугуна производится газовой горелкой, паяльной лампой и в печах с контролируемой атмосферой с подфлюсовыванием.

Для снятия внутренних напряжений и упрочнения паяных соединений чугунные изделия сразу после пайки подвергают отжигу при температуре $700\text{—}750^{\circ}\text{C}$ в течение 20 мин.

При низкотемпературной пайке чугуна оловянно-свинцовыми или другими легкоплавкими припоями паемые поверхности можно подготовить обработкой флюсом ПВ209 или ПВ294Х при температурах $600\text{—}700^{\circ}\text{C}$, обезжирить бензином, ацетоном или раствором щелочи. Пайку нужно производить паяльником или газовой горелкой с применением флюса на основе хлористого цинка с добавками хлористых солей меди и олова. Для облегчения пайки легкоплавкими припоями применяют гальваническое лужение или контактное меднение в растворе медного купороса [6, 10].

Пайку дефектных участков (усабочных раковин, пор и трещин) чугунных литых деталей осуществляют с применением оловянно-свинцового припоя, например ПОССу 30—0,5. Паяют только после механической зачистки и лужения паяемых поверхностей. После пайки изделие тщательно промывают горячей и холодной водой.

ПАЙКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Пайка медных деталей низкотемпературными припоями проводится при зазорах 0,05—0,5 мм при температурах 650—900 °С в вакууме или в инертных газовых средах. При пайке меди индием, оловом, галлием, припоями ПОС 40 и ПОС 61 соединения имеют временное сопротивление разрыву 40—70 МПа и низкую пластичность. При пайке меди при температуре 850—900 °С в вакууме припоем системы Pb—Ag—Sn—Ni (ПСр 7,5) можно обеспечить прочность до 140 МПа с достаточно высокой пластичностью (угол изгиба равен 130°) [15].

Высокотемпературную пайку медных конструкций осуществляют припоями на основе меди или серебра. Припой на медной основе (Л63, ЛОЖ 62-0,6-0,4, МПЦ 36 и др.) тугоплавки и вызывают растворение (эрозию) основного металла, поэтому для пайки меди их применяют реже, чем серебряные. Пайку серебряными припоями ПСр 45, ПСр 40, ПСр 25, ПСр 12М осуществляют нагревом ацетилено-кислородным пламенем или в печах с использованием флюсов ПВ209 и ПВ284Х. После пайки остатки флюса необходимо удалять промывкой в горячей воде.

Бесфлюсовую пайку медных изделий осуществляют припоями на основе серебра (ПСр 72, ПСр 71, ПСр 62) в вакууме или инертных средах [2, 6].

Для пайки меди находят также применение припой на основе медно-фосфористой эвтектики с добавлением серебра. Швы, паянные этими припоями, имеют временное сопротивление разрыву 250—300 МПа, теплостойки до температуры 800 °С, но непластичны. В условиях низких температур прочность соединений меди, паянных этими припоями, увеличивается, но пластичность резко падает.

Для работы при температурах выше комнатной хорошо зарекомендовал себя припой ПМФОЦр 6-4-0,03.

Соединение меди при низкотемпературной пайке производится стандартными оловянно-свинцовыми припоями, например ПОССу 30—0,5; ПОС 40; ПОССу 40—0,5; ПОС 61, и свинцово-серебряными припоями ПСр 1,5; ПСр 2,5; ПСр 3 с использованием флюсов на основе хлористого цинка или канифольно-спиртовых. Соединения, паянные оловянно-свинцовыми припоями, теплостойки до температур 100—120 °С. При снижении температуры до минус 196—253 °С временное сопротивление разрыву этих соедине-

ний увеличивается в 1,5—2 раза, достигая 45—75 МПа, при этом пластичность соединений резко снижается. Для оловянно-свинцовых сплавов, содержащих менее 15% олова, снижение ударной вязкости не происходит. Это обусловлено тем, что свинец, являясь хладостойкой основой сплава, делает припой малочувствительным к понижению температуры до минус 253 °С. Однако припои на основе свинца нетехнологичны и имеют предел прочности на срез 12—18 МПа.

Применение кадмиевых припоев требует специального навыка, так как технологичность их значительно ниже, чем оловянно-свинцовых. Соединения меди кадмиевыми припоями ПСр 5КЦН, ПСр 8КЦН теплостойки до температуры 350 °С, но имеют низкое (29 МПа) временное сопротивление разрыву, а из-за образования в шве хрупких интерметаллидов нехладостойки.

Примером применения низкотемпературной пайки в серийном производстве является производство ажурных конструкций (радиаторы из меди и латуни). Для этого детали, заранее облуженные припоями ПОССу 30—0,5; ПОССу 40—0,5 и другими, флюсуют в растворах хлористого цинка, нагревают в печах, горелками или погружением в ванну с расплавом оловянно-свинцовых припоев. При пайке погружением (температура 250—300 °С) в расплав припоев зеркало ванны защищают инертным газом или активированным углем.

Пайка латуней. Особенность пайки латуней заключается в более сложном (в отличие от пайки меди) удалении с ее поверхности оксида ZnO . Удаление оксида ZnO не обеспечивается канифольно-спиртовыми флюсами, например при пайке латуней ЛЦ40С, Л63 оловянно-свинцовыми припоями необходимо применять флюсы на основе хлористого цинка с добавками азотной кислоты.

Пайка латуней в газовых средах (например латунь ЛЦ14КЗСЗ) возможна только с предварительным флюсованием мест пайки и с применением медно-фосфорных и серебряных припоев. Улучшить паяемость латуни удастся за счет нанесения на ее поверхность слоя меди или никеля (до 25 мкм), предохраняющего испарение цинка.

При нагреве латунных изделий в пламени газовых горелок и в печах также происходят испарение и окисление цинка. Испарение цинка и образование пор в швах можно уменьшить за счет применения восстановительного пламени при пайке горелкой и избыточного давления при пайке в печи в газовых средах [1].

Для пайки латуней, богатых медью, используют серебряные припои, а также латуни с низкой температурой плавления (припои типа ПМЦ36, ПМЦ48, ПМЦ54) и медно-фосфорные, если соединения не подвергаются вибрационным нагрузкам. Для латуней, богатых цинком (Л63, Л68), применяют припой ПСр 40.

При пайке серебряными и медно-фосфорными припоями латуни интенсивно растворяются, поэтому паять их следует с высокими скоростями нагрева.

Пайка бронз. Оловянистые бронзы можно паять оловянно-свинцовыми, серебряными и медно-цинковыми припоями. Пайка высокооловянистых бронз медно-цинковыми припоями нежелательна ввиду близости температуры пайки к температуре плавления этих припоев. Пайку оловянистых бронз можно проводить любым известным способом: паяльником, газопламенными горелками, контактным нагревом, нагревом ТВЧ, в соляных ваннах, в печах с контролируемой атмосферой; при этом нагрев изделия следует вести постепенно, так как при высоких скоростях нагрева основной металл склонен к красноломкости.

Пайку можно проводить оловянно-свинцовыми припоями с использованием флюсов на основе хлористого цинка с добавками соляной кислоты. При высокотемпературной пайке используют медно-цинковые и серебряные припои с применением флюсов на основе борной кислоты с добавками хлористых и фтористых солей металлов.

Свинцовые бронзы можно паять припоями с флюсами, которые применяют для пайки оловянистых бронз.

Пайка никеля и его сплавов. Никель и его сплавы с медью (монель), с железом (константан) имеют на поверхности оксидную пленку, которая легко удаляется при пайке обычными флюсами, в нейтральных газовых средах и в вакууме.

Никелевые сплавы с хромом (нихромы) имеют более стойкий оксид, а легирование нихрома алюминием и титаном уже вызывает сложности при пайке. Пайка этих сплавов палладиевыми припоями может быть осуществлена в вакууме или в аргоне. Пайку припоями на основе никеля системы Ni—Mn—Cr обычно проводят в атмосфере аргона, в смесях $Ar + BF_3$ или $Ar + HF$.

Для кислотостойких и жаропрочных паяных соединений применяют припои на никельхромовой основе, легированные марганцем, бором, фосфором или кремнием.

При пайке никелевых сплавов медью и припоями, легированными бором, бериллием и кремнием, интенсивно растворяется паяемый материал и вызывает необходимость жестко соблюдать режимы нагрева.

При пайке нихромов жаропрочными припоями с местным нагревом рекомендуется применять флюсы ПВ200 и ПВ201, а при пайке серебряными припоями — ПВ209 и ПВ284Х. Серебряные и медные припои для пайки жаропрочных никелевых сплавов используют редко вследствие низкой их жаропрочности и коррозионной стойкости.

Никель и его сплавы практически не подвергаются растворению припоями систем Ag—Pd—Mn; Pd—Ni; Ni—Pd—Ag, Pd—Ni—Cr при пайке до температур 1150—1200 °C.

Для низкотемпературной пайки никеля пригодны оловянно-свинцовые припои, содержащие 40—60 % олова, и флюсы, рекомендуемые для пайки сталей.

Пайка молибдена. При пайке оксидную пленку с поверхности молибдена удаляют путем погружения деталей в расплав, состоящий из 70 % NaOH и 30 % Na₂CO₃ при температуре не выше 400 °C или с помощью электролитического травления в 80 %-ном водном растворе серной кислоты при 50—60 °C.

Молибден можно паять чистым никелем. Никель наносят на молибден гальваническим способом или в виде фольги. Пайку проводят в вакууме 10^{-2} — 10^{-3} Па при 1350 °C с поджатием деталей давлением 15 МПа и выдержке 2—6 ч. При таком режиме полученное соединение не имеет хрупких фаз и выдерживает многократные нагревы до 2600 °C.

При пайке молибдена припоем на основе никеля, содержащего 14 % Cr и 6 % Fe, соединение имеет предел прочности на срез 132 МПа при 980 °C.

Чистую медь также можно применять для пайки молибдена, однако лучшие результаты по смачиванию обеспечиваются при легировании меди кобальтом, железом, марганцем, никелем, кремнием, палладием в количестве не более 4—5 %. Ограничение вызвано тем, что названные компоненты, кроме палладия, образуют с молибденом хрупкие интерметаллиды. Пайку медным припоем следует производить при температуре 1100 °C и выдержке 20 мин.

Растекаемость серебряных припоев по молибдену увеличивается при введении в них 1—2 % фосфора. Соединения молибдена, паянные припоями систем Ag—P; Ag—Cu, Ag—Cu—Ni—Li, могут работать при температуре 650 °C. Пайку можно проводить погружением в расплавленный припой или газовой горелкой. Соединения молибдена, паянные оловянно-свинцовыми припоями с применением флюсов на основе хлористого цинка, могут работать при температуре не более 150 °C.

Пайка ниобия и его сплавов. Для получения высокопрочных и пластичных паяных соединений целесообразно для пайки ниобия применять чистые металлы: титан, ванадий, цирконий, которые образуют с ниобием твердые растворы. На основе этих металлов можно получить пластичные припои и жаропрочные паяные соединения, однако все они слишком тугоплавки и для их пайки требуется оборудование, позволяющее проводить пайку в высоком вакууме при температурах 1600—1900 °C. Поэтому для пайки ниобия применяют и более легкоплавкие припои, например припой на основе меди, содержащий %: Ni 30, Fe 1—2, Si 1—2,

В 0,2, обеспечивающий получение достаточно прочных соединений после длительной выдержки при температуре пайки 1500 °С.

Для пайки ниобия в среде аргона с точкой росы минус 70 °С можно использовать сплавы системы Cr—Pd—Ge. Рекомендованы два сплава, %: 1) Cr 50; Pd 30; Ge 20, температура пайки 1450 °С, выдержка 5 мин, предел прочности соединения на срез 58 МПа при 1093 °С; 2) Cr 50, Pd 35, Ge 15, температура пайки 1450 °С, выдержка 5 мин, предел прочности соединения на срез 74 МПа при 1093 °С.

Для пайки ниобия рекомендуется также припой, состоящий, %: Nb 17; V 10; Cr 8; Al 2,3, Ti — основа, обеспечивающий предел прочности на срез 800 МПа, относительное удлинение $\delta = 4\%$.

Пайка титана и его сплавов. На поверхности титана всегда имеется альфированный слой, насыщенный атмосферными газами. Перед пайкой этот слой необходимо удалять пескоструйной обработкой или травлением в растворе: 25 мл HNO_3 и 35 мл HCl на 1 л воды.

Обычно пайку титана и его сплавов ведут в вакууме или в аргоне, тщательно очищенном от примесей кислорода, азота и паров воды. В такой атмосфере оксидная и нитридная пленки растворяются в титане при температуре выше 700 °С, поэтому процесс пайки титана ведут обычно при температурах 800—900 °С. Печную пайку при более высоких температурах проводят редко, так как при длительном нагреве отмечается склонность к росту зерна и снижению пластических свойств.

Водород, всегда находящийся в титане и снижающий его пластичность, удаляется при нагреве в вакууме 10^{-3} Па при 900 °С.

При выборе припоя, способа и режимов пайки необходимо учитывать, что титан образует хрупкие интерметаллиды в паяном шве почти со всеми элементами, входящими в припой. Поэтому в качестве основы припоя часто выбирают серебро, которое образует с титаном менее хрупкие интерметаллиды, чем с другими металлами. Иногда за основу припоя берут алюминий, образующий с титаном ограниченную область твердых растворов.

Практическое применение нашли серебряные припои. Например, при пайке титана ВТ1-1 чистым серебром в атмосфере аргона получены соединения с пределом прочности на срез 180—200 МПа, а при пайке серебром, легированным марганцем (10—15%), 280 МПа [6, 8].

При пайке титана припоями на основе никеля или меди предел прочности соединений на срез равен 300 МПа, но из-за активного растворения титана в этих металлах возможно образование в швах хрупких слоев.

Для получения более пластичных и прочных соединений применяют диффузионную пайку титана. Для этих целей на паяемые поверхности изделия наносят тонкие слои никеля, меди, цинка,

железа, кобальта, серебра или их комбинаций. После пайки температуру снижают на 50—100 °С и выдерживают до тех пор, пока в паяном соединении не образуется пластичный твердый раствор. При таком способе пайки достигается прочность соединений, близкая к прочности паяемого металла.

При пайке изделий из титанового сплава (90% Ti, 6% Al, 4% V) припоями на основе серебра (95% Ag, 4,5% Al, 0,5% Mn или 65% Ag, 30% Al, 5% Cu) в вакуумной печи с давлением $2 \cdot 10^{-4}$ Па предел прочности соединений на срез 300 МПа и ударная вязкость 210 Дж/см² достигается при сборочном зазоре 0,05 мм, выдержке 15 мин, температуре пайки 930 и 680 °С соответственно.

При пайке (температура 780 °С) в вакууме $4 \cdot 10^{-3}$ Па узлов сверхзвуковых самолетов из сплава ВТ6С припоем, содержащим, %: Al 66,5; Si 3,5; Sn 5; Cu 25, паяные швы сохраняют пластичность при изгибе до 90°.

При применении припоя на основе титана (72% Ti, 14% Ni, 14% Cu) для пайки крыльчаток реактивных двигателей из титанового сплава обеспечивается предел прочности на срез 310 МПа, временное сопротивление разрыву 370 МПа и ударная вязкость 2,8 Дж/см². Повысить в 1,5 раза прочность и в 10 раз пластичность удается за счет совмещения процесса пайки (при температуре 960 °С) и термообработки (при температуре 920 °С и времени выдержки 2—4 ч) в вакуумной печи при разрежении $2 \cdot 10^{-3}$ Па.

Низкотемпературную пайку титана оловянно-свинцовыми припоями можно осуществлять только по слою никеля и меди, предварительно нанесенному на титан гальваническим путем. Эти покрытия, нанесенные для увеличения сцепления с паяемым металлом, подвергают термической обработке при температуре 250 °С в вакууме или инертной среде, а затем проводят пайку обычным способом с использованием флюсов на основе хлористого цинка. Паяют титан и по слою олова или серебра. Олово и серебро наносят на предварительно подготовленную деталь путем ее погружения на 10—20 мин в расплаве олова, нагретого до 700 °С, или серебра, нагретого до 1050 °С. Луженую поверхность очищают от шлама и проводят пайку деталей припоями с температурой плавления ≤ 200 °С с использованием канифольно-спиртовых флюсов.

ПАЙКА АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Пайку алюминия низкотемпературными припоями осуществить без предварительного нанесения технологических покрытий или лужения паяемых поверхностей весьма сложно. В качестве технологических покрытий перед пайкой наносят: медь, гальванический или химический никель, серебро, цинк толщиной 15—25 мкм. Покрытия могут наноситься термовакуумным напылением, электрохимическим, химическим и другими способами. Лужение паяе-

мых поверхностей алюминиевых деталей проводят абразивным и ультразвуковым методами или с применением активных флюсов. При абразивном лужении оксидную пленку удаляют шабером, металлическими щетками, абразивным паяльником или частицами абразива, находящегося в припое [6, 8].

Для лужения и последующей пайки применяют стандартные оловянно-свинцовые припои, припои на основе олова с цинком (П200А, П250А), припои системы Sn—Cd—Zn (П150А).

Соединения, паянные этими припоями, склонны к щелевой коррозии, поэтому использовать их для работы в нагруженных узлах и агрессивных средах не рекомендуется. Такие соединения могут длительное время работать в вакууме, инертных газах или после защиты их лакокрасочными покрытиями и специальными компаундами. Припоями П250, П200 и П150А (температура пайки 200—300 °С) можно паять алюминий и его сплавы в монтажных условиях паяльником и ТВЧ. При этом применяются флюсы марок Ф54А, Ф59А, Ф61А, содержащие в своем составе высококипящие органические соединения, триэтаноламин.

Низкотемпературную пайку алюминиевых сплавов можно осуществлять с припоями на основе цинка, например, состава, %: Zn 70; Sn 30 (температура плавления 380 °С); Zn 95; Al 5 (температура плавления 400 °С) с использованием галогенидных и фторборатных флюсов. Нагрев под пайку проводят газопламенными горелками, в печах или погружением в расплавленную соль. Предел прочности на срез соединений алюминия, паянных припоем системы Zn—Al, 90 МПа, припоем системы Zn—Sn, 40 МПа [12, 13].

Иногда для пайки алюминиевых сплавов используют припои, содержащие в своем составе компоненты флюса, способствующие удалению оксидов с поверхности алюминия. Припой ПЦАМ90, содержащий, %: Zn 90; Al 7,5; Cu 0,4—0,6; Mg 0,05—0,1; NaCl 0,3—0,5; KCl 0,5—0,7; BaCl₂ 0,8—0,1; криолита 0,1—0,2 (температура плавления 368—385 °С), позволяет получать соединения с пределом прочности на срез 17—20 МПа при пайке технических сплавов Д1 и Д16 и 80—87 МПа при пайке алюминия АД1.

Соединения алюминиевых сплавов, полученные с помощью флюсовой пайки, отличаются низкой коррозионной стойкостью. Наибольшей сопротивляемостью коррозии обладают соединения, паянные припоями на основе цинка с добавками алюминия, серебра и меди. Добавки к цинку олова, свинца, кадмия и висмута понижают коррозионную стойкость соединений. Поэтому детали после пайки необходимо тщательно отмывать от остатков флюса и защищать лакокрасочными покрытиями. Соединения сразу после пайки должны промываться в проточной горячей и холодной воде с последующей обработкой в 5%-ном растворе азотной кислоты или 10%-ном растворе хромового ангидрида.

Повысить паяемость и коррозионную стойкость соединений удается за счет нанесения перед пайкой технологического покрытия. Пайка по покрытию легко осуществляется оловянно-свинцовыми и другими низкотемпературными припоями с применением канифольно-спиртовых флюсов на основе водных растворов хлористого цинка. Предел прочности на срез соединений из сплава АМц, паянных по никель-фосфорному покрытию припоями ПСр 2,5, равен 16—19 МПа, ПСр 8КНЦ — 17—29 МПа, ПОС 61 — 30—60 МПа. Коррозионная стойкость этих соединений выше, чем аналогичных, полученных при пайке по медному покрытию и без технологических покрытий. Однако более коррозионно-стойкими являются соединения, паянные по цинковому покрытию припоем ПОСК 51. Удаление оксидной пленки с покрытия перед пайкой осуществляют металлической щеткой, а пайку ведут с флюсом на основе глицерина, содержащего 20% эвтектики NaOH—KOH.

Пайку алюминия с медью, никелем и сталью также проводят по предварительно нанесенному на поверхность алюминия слою никеля или меди. Лужение и пайку осуществляют оловянно-свинцовыми припоями и флюсами, рекомендованными для низкотемпературной пайки чистых меди и никеля.

Высокотемпературная флюсовая пайка алюминия и его сплавов может проводиться с применением газопламенного, печного и индукционного нагрева, а также путем погружения в расплавленную соль [14, 12].

При пайке горелками используют бензовоздушные и газозо-душные смеси. Ацетилено-кислородное пламя непригодно, так как снижает активность флюсов. Для пайки крупногабаритных конструкций, требующих равномерного нагрева, используют печи.

Индукционный нагрев обеспечивает высокую скорость нагрева, например, при пайке тонкостенных (до 10 мм) телескопических соединений, но для изделий сложной конфигурации применяется ограничено [3, 5, 6].

Пайка в солевых ваннах отличается высокой производительностью. Расплавленная соль служит одновременно теплоносителем и флюсующей средой. Изделие перед погружением в солевой расплав предварительно подогревают в электропечах до температуры на 30—50 °С ниже температуры солидуса припоя с целью предотвращения попадания воды в ванну, исключения коробления и ускорения нагрева изделия до температуры пайки. Соотношение массы паяемого изделия с приспособлением и массы солевого расплава берется равным от 1 : 15 до 1 : 30. Припой в этом случае должны быть заранее нанесены на одну из деталей в виде покрытия или плакирующего слоя. При этом зазор не должен быть более 0,1 мм [12].

В качестве флюсов при любом способе нагрева применяют смеси солей хлоридов щелочных и тяжелых металлов с добавками фторидов: например, для пайки горелкой и в печи применяют флюсы 34А, ФЗ, ВФЗХ и др. Для пайки в солевых расплавах широко применяется флюс 16ВК. Пайку с указанными флюсами проводят припоями на основе алюминия: СИЛ-1 и СИЛ-2 (9—12% Si), П575А (80% Al, 20% Zn), 34А (66% Al, 28% Cu, 6% Si) и другими при температурах 590—620, 580—600 и 550—560 °С соответственно. Если припой нанесен заранее, то зазор при флюсовой пайке должен быть не менее 0,15—0,25 мм.

Флюсовую пайку, например, пластинчато-ребристых теплообменников размерами до 850×850×3000 мм производят погружением во флюсовую ванну. Теплообменник изготавливают из сплава АМц. На проставочные листы методом плакирования наносят припой (силумин с 11,7% Si). Собранное в приспособлении изделие подогревают до температуры 400—560 °С, а затем погружают в расплав флюса 16ВК, нагретого до 620 °С, и выдерживают 3—5 мин.

Флюсовую пайку теплообменников осуществляют и в электропечах. Изделия также собирают в приспособлении, наносят припой и флюс. Например, при пайке трубчатых теплообменников из сплава АМц припой (силумин 9—12% Si) наносят на трубные доски методом плакирования, а трубки, с целью улучшения их смачивания, покрывают слоем меди (3—5 мкм). Спиртовой или водный раствор флюса 34А (1,5 : 1) наносят на изделие кистью или погружением.

Пайку проводят при температуре 580—590 °С и выдержке 3—5 мин. После флюсовой пайки с изделия удаляют остатки флюса промывкой в горячей и холодной воде, предел прочности соединений на срез 80—100 МПа.

Бесфлюсовую пайку алюминиевых радиаторов размером 600×400×150 мм проводят припоями системы алюминий—кремний в вакууме 10^{-2} — 10^{-3} Па в парах магния при температуре 610 °С. Пайку можно проводить и в инертных газовых средах: аргоне, азоте, гелии. Перед пайкой газы обязательно очищают от паров воды и кислорода до содержания, соответствующего вакууму 10^{-2} — 10^{-3} Па.

ПАЙКА МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Перед пайкой оксидную пленку удаляют механическими способами (стальной щеткой, напильником, шабером) или химической обработкой в водном растворе хромового ангидрида (20—30 г/л) при температуре 60—70 °С с последующей промывкой в горячей и холодной воде.

Низкотемпературную пайку магниевых сплавов проводят по предварительно нанесенным покрытиям легкопаяемых метал-

лов, например, меди, никеля или серебра. Гальванические покрытия наносят после тщательной подготовки поверхности и декапирования в растворе, содержащем ортофосфорную кислоту (400 г/л) и фтористый калий (100 г/л), при температуре 18—25 °С в течение 2 мин. Покрытие медью осуществляют после контактного осаждения цинка. Нанесение покрытий на магниевые сплавы гальваническим путем сопряжено со значительными трудностями. Наиболее надежное покрытие (никелевое или медное) обеспечивает ионный способ в тлеющем разряде. Покрытые детали паяют припоями и флюсами, применяемыми для пайки металла покрытия [6].

В качестве газовых сред при низкотемпературной пайке магния по покрытию используют вакуум 10^{-2} Па и активную газовую среду, состоящую из аргона или азота, активированного парами хлористого аммония (0,1% по объему). Пайку припоем, например, оловянно-свинцовым, проводят при температурах 250—550 °С. При этом обеспечивается прочность соединений, равная 40—50 МПа. Пайку при температурах 100—500 °С проводят и галлиевыми пастами состава, %: Ga 88; Zr 4; Cd 4; Mg 4 (температура плавления 30 °С) и Ga 55; Zn 25; Sn 11; Zr 1; Cd 4; Mg 4 (температура плавления 106 °С). При этом предел прочности соединений на срез не достигает более 30 МПа.

Флюсовую высокотемпературную пайку выполняют при температурах 450—600 °С с использованием припоев на основе магния. Например, пайку магниевого сплава при температуре 450 °С можно осуществить припоем состава, %: Mg 53,5; Mn 0,2; Zn 0,3; Al 21; Cd 25 [2].

В качестве флюсов применяют соли на основе галлоидов, щелочных и щелочноземельных металлов.

При нагреве горелкой пламя нельзя направлять на флюс, а припой следует вводить только после расплавления флюса.

При пайке в расплавленном флюсе собранные в приспособлении детали предварительно подогревают в печи до температуры 400—500 °С, а затем погружают в расплав, нагретый до температуры 600 °С на 2 мин.

Пайку в печи выполняют с флюсом. Эффективен нагрев электрическими нагревательными плитами.

После пайки узлы охлаждают до 200 °С, промывают в 2—3%-ном кипящем растворе углекислой соды в течение 30—60 мин, в холодной воде и в хромовокислой ванне, а затем сушат в шкафу при температуре 60—70 °С.

При контактно-реактивном способе пайки магниевых сплавов через барьерный слой никеля или меди толщиной 20 мкм образуются соединения с пределом прочности на срез 30—50 МПа. Процесс осуществляется в нейтральной среде или в вакууме при

температуре 450—600 °С и постоянном поджатии паяемых деталей.

Паяные швы из-за низкого электродного потенциала магния являются катодом, поэтому коррозионному разрушению подвергается основной металл. Для предотвращения и уменьшения коррозии детали после пайки анодируют (под окраску).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гржимальский Я. Я., Ильевский И. И. Технология и оборудование пайки. М.: Машиностроение, 1979. 240 с.
2. Петрунин И. Е., Маркова И. Ю., Екаторова А. С. Металловедение пайки. М.: Металлургия, 1976. 264 с.
3. Петрунин И. Е., Шенин Ю. Ф., Москаленко А. П. Влияние режимов пайки и термообработки на свойства соединений стали 20//Пути повышения качества, долговечности и надежности сварных и паяных изделий. М.: МДНТП, 1980. С. 95—100.
4. Петрунин И. Е., Шенин Ю. Ф., Ермаков В. А. Исследования по технологии пайки нержавеющей стали 20Х13//Пайка в машиностроении. Омск: ОДТ, 1980. С. 164—169.
5. Пайка при производстве крупногабаритных строительных металлоконструкций//И. Е. Петрунин, П. К. Мороз, Г. И. Стрекалов, Ю. Ф. Шенин//М.: Стройиздат, 1980. 149 с.
6. Лашко Н. Ф., Лашко С. В. Пайка металлов. М.: Машиностроение, 1977. 328 с.
7. Ключко Н. А. Основы технологии пайки и термообработки твердосплавного инструмента. М.: Металлургия, 1981. 200 с.
8. Справочник по пайке/Под ред. И. Е. Петрунина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1984. 400 с.
9. Шенин Ю. Ф., Сторчаев Е. И., Лантушенко Ю. И. Пайка хладостойким медно-марганцевым припоем изделий из нержавеющей сталей//Сварочное производство. 1987. № 1. С. 143—146.
10. Хряпин В. Е. Справочник паяльщика. М.: Машиностроение, 1981. 349 с.
11. Вологдин В. В., Куш Э. В. Индукционная пайка. М.: Машиностроение, 1979. 80 с.
12. Сторчаев Е. И. Флюсовая пайка алюминия. М.: Металлургия, 1980. 124 с.
13. Смирнов Г. Н. Прогрессивные способы пайки алюминия. М.: Металлургия, 1981. 240 с.
14. Никитинский А. М. Пайка алюминия и его сплавов. М.: Машиностроение, 1983. 192 с.
15. Шенин Ю. Ф. Особенности бесфлюсовой пайки низкотемпературными припоями//Надежность и качество паяных изделий. М., 1982. ЦИНТОмашпром, г. Саратов.

ПАЙКА МЕТАЛЛОВ С НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Пайкой можно соединять металлы с полупроводниками, минералокерамикой, стеклами, фарфором, кварцем, графитом, ферритом, ситаллом и др.

Вследствие различия физико-химических свойств и состава металлов и неметаллических материалов природа связи в паяных швах, обеспечивающих их соединение, иная, более сложная, чем в соединениях между металлами. Минералокерамика, стекла, кварц, ситалл и другие неметаллические материалы, подвергающиеся пайке, состоят в основном из оксидов (Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , Li_2O) и практически не смачиваются металлическими припоями. Пайка их требует особых приемов.

Различие ТКЛР металлов и неметаллических материалов (в 3—7 раз) в большинстве случаев приводит к образованию остаточных напряжений как после пайки, так и при нагревах в процессе эксплуатации паяного изделия. Напряжения могут быть большими и приводить к разрушениям спая. Поэтому ТКЛР металла и неметаллического материала должны быть весьма близкими или необходимо разработать конструкцию спая, обеспечивающую релаксацию напряжений.

Пайку таких изделий осуществляют, используя:

активные припои с индием, титаном, цирконием, обеспечивающие одновременно смачиваемость металла и неметаллического материала;

нанесение на паяемую поверхность покрытий-металлов, хорошо смачиваемых металлическими припоями (электролитическим методом, напылением, вжиганием);

в качестве припоев легкоплавкие стекла, глазури или эмали.

Выбор того или иного способа пайки в каждом отдельном случае должен проводиться в зависимости от паяемых материалов, массовости выпуска и конструкции изделия, а также требования к паяному соединению.

ПАЙКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Поверхности полупроводников, подлежащих низкотемпературной пайке, необходимо предварительно облудить с использованием ультразвукового паяльника или нанести гальваническое покрытие (никелирование, золочение). Полупроводники с нане-

1. Составы низкотемпературных припоев, применяемых при пайке германия и кремния

Содержание (массовая доля), %				Температура плавления, °C
Bi	Pb	Sn	Cd	
50,1	24,9	14,2	10,8	65,5
52,0	40,0	—	8,0	91,5
56,0	44	—	—	125,0
—	36	64	—	181,0

сенным покрытием подвергаются пайке в печах с контролируемой средой (нейтральной, восстановительной) в вакууме или нагревом методом сопротивления на воздухе с использованием защитных или активных флюсов (спиртового раствора канифоли, хлористого цинка или аммония). Остатки флюса тщательно удаляются промывкой деионизированной водой,

затем изделие сушат. Для пайки полупроводников припой подбирается таким образом, чтобы он образовывал электронно-дырочный переход или невыпрямляющий омический контакт [1].

2. Припой и режимы пайки германия и кремния

Паяемые материалы	Состав припоя (массовая доля), %	Режим пайки			Применение, особенности процесса
		Температура, °C	Время, мин	Среда	
Кремний <i>n</i> -типа	Pb 63, Sn 35,5, Sb 1,5; Pb 97, Sb 1,5, Ni 1,5	720—730	12—13	Флюс	—
Кремний	Золото (контактно-реактивная пайка)	420	—	—	Интегральные схемы
Арсенид галлия + никель и кремний + никель	Ga 39,6, Sn 4,4, Cu (порошок) — 56	100	—	—	Нагрев лучом лазера
Кремний КЭФ + ковар 29 НК	Стекло С48-1 или «Пирекс»	980	10	Аргон	Пайка в 2 этапа: 1. Стекло с коваром. 2. Стекло, ковар с кремнием $U=800-1000$ В
		400—450	20—25		
Германий + платина	Sn 99; Bi 1	280	5	Водород	—

3. Составы припоев, режимы пайки полупроводников ПВДХ-1 и ПВЭХ-1 с медью и алюминием

Паяемый материал	Состав припоев (массовая доля), %	Режим пайки *		
		Температура, °С	Время, с	Среда
Медь + + ПВДХ-1 или ПВЭХ-1	Bi 54; Sn 42; Sb 4 (однослойное лужение)	170	2—3	Флюс № 1
	Bi 58; Sn 42	300 (лужение) 200 (лужение)	2—5 2—5	Флюс № 2
	(Bi 95; Sb 5) + (Bi 58; Sn 42) (двухслойное лужение)	210	2—5	Флюс № 2
Алюминий + + ПВДХ-1 или ПВЭХ-1	(Zn 88,5; Al 7; Cu 4; Co 0,5) + (Bi 54; Sn 42; Sb 4) (двухслойное лужение)	420 (лужение) 200 (лужение) 210	5 2—5 2—5	Ультразвук Флюс № 1 Флюс № 2
	(Bi 95; Sb 5) + (Bi 58; Sn 42) (двухслойное лужение)	300 (лужение) — 210	2—5 2—5 2—5	Флюс № 2 Флюс № 1 Флюс № 2

* Давление сжатия соединяемых образцов 0,1 МПа.

Для создания в месте контакта проводимости электронного типа применяют припой с металлической основой (алюминий, индий, олово, свинец) и примесями (фосфор, мышьяк, сурьма и висмут). Для обеспечения невыпрямляющего омического контакта в качестве примесей применяют бор и галлий.

При выборе припоя следует учитывать влияние их на электрические параметры паяемых приборов. Составы припоев, используемых для низкотемпературной пайки полупроводников, приведены в табл. 1.

Припой-пасты на основе галлия также нашли применение для пайки полупроводников. Припой и режимы пайки германия и кремния приведены в табл. 2.

Для высокотемпературной пайки применяют флюсы на основе бора.

Полупроводники на основе халькогенидов сурьмы и висмута в зависимости от способа изготовления, подготовки поверхности обладают различной паяемостью и требуют строгого соблюдения режима пайки. Диффузия припоя в проводник способствует образованию соединений, увеличивающих переходное сопротивление термоэлемента, поэтому время пайки должно быть ограни-

чено, а отклонение от температуры пайки практически не должно иметь место. Применяются припой, содержащие в своем составе висмут, свинец, олово, кадмий, сурьму, теллур, алюминий, галлий, индий, серебро.

Для однослойного и двухслойного лужения полупроводников на основе халькогенидов сурьмы и висмута применяются припой (массовые доли), %: Bi 54, Sn 42, Sb 4 (температура плавления 150 °C), Bi 95, Sb 5 (температура плавления 280 °C); Bi 58, Sn 42 (температура плавления 135 °C).

В качестве флюсов (массовые доли, %) применяют: № 1 — хлористый цинк 35, хлористый кобальт 14, хлористый аммоний 16, глицерин 35; № 2 — хлористый аммоний 50, глицерин — 50.

При облуживании полупроводников вручную используют паяльники с никелевым наконечником. Механизированное облуживание — погружение в расплав припоев и активизация поверхности ультразвуком. Составы припоев, режимы пайки полупроводников ПВДХ-1 и ПВЭХ-1 с медью и алюминием приведены в табл. 3.

ПАЙКА МЕТАЛЛОВ С КЕРАМИКОЙ

Минералокерамика в основном состоит из оксидов Al_2O_3 , SiO_2 , BeO, MgO и др. Связь атомов в оксидах ионная, поэтому и прочность паяных соединений оксидов с металлами меньшая, чем между металлами. Керамика обычными металлическими припоями не смачивается. При низкотемпературной пайке (177 °C) путем натирания по паяемой поверхности керамики индиевых припоев (эвтектика индий — олово) позволяет получить удовлетворительные паяные швы [2]. Предварительная подготовка поверхности керамики — облуживание паяемой поверхности ультразвуковым паяльником с титановым наконечником. Низкотемпературная пайка может производиться после напыления хорошо смачиваемого металла (Cu, Ni, Ag, Au) на поверхность керамики. Втирание графита в шероховатую поверхность керамики с последующим нанесением электролитическим способом Cu, Ni, Ag, Au и вжигание (870 °C) стеклянной фриты, состоящей из порошка стекла и серебра, обеспечивает смачиваемость поверхности керамики. Стекло хорошо смачивает керамику и серебро, образуя поверхность с металлическим серебряным слоем, по которому возможна низкотемпературная пайка с применением обычных припоев, флюсов и способов пайки.

В отдельных случаях на керамику наносят оксиды Cu, Ni, Ag в виде порошка (пасты) слоем 0,1—0,2 мм.

При вжигании (расплавлении) оксиды хорошо смачивают поверхность керамики, а последующее частичное поверхностное восстановление оксидов позволяет создать смачиваемую металли-

4. Химический состав паст, применяемых для металлизации керамических материалов

Марка керамики	Химический состав пасты (массовая доля), %
22-кс	Mo 80, Mn 20; Mo 80, Mn 10, TiH ₄ 10; Mo 75, Mn 20, Si 5; Mo 75, Mn 20, Mo ₂ B ₆ 5
М-7	Mo 75, Mn 20, стекло (С48-2) 5; Mo 80, Mn 10, TiH ₄ 10; Mo 75, Mn 20, Si 5; Mo 80, Mn 14, ферросилиций 6
Сапфирит	Mo 75, Mn 20, V ₂ O ₅ 5; Mo 80, стекло (MnO—Al ₂ O ₃ —SiO ₂) 20
Стоал	Mo 75, Mn 20, стекло (С48-2) 5; Mo 80, Mn 14, ферросилиций 6
А-995	Mo 70, Mn 20, MoB ₄ 10
Поликор ГМ	W 95, V ₂ O ₅ 5

зированную поверхность. Чаще всего в состав металлизированного покрытия, наносимого на керамику, входит 75—95 % (по массе) молибдена (вольфрама), активные добавки марганца, кремния, титана (гидрида титана), железа, ферросилиция, бориды молибдена, стекла и др. [3]. Добавки выбираются в зависимости от температуры спекания, химического и фазового состава керамики. Спекание металлизационной пасты проводится в водородной среде при 1100—1650 °С с точкой росы 10—35 °С, при этом происходят обратимые окислительно-восстановительные реакции с частичным или полным окислением входящих в пасту металлов, которые взаимодействуют с оксидами керамики, образуя прочную связь. В промышленности используются составы металлических паст для отечественных алюмооксидных материалов (табл. 4).

Компоненты паст тщательно измельчаются в ацетоне или спирте. Порошки смешиваются с биндером, который представляет собой раствор коллаксила в изоамилацетате. Вязкость его по прибору ВЗ-4 18—20 с, сухой остаток не более 3%. Порошки, биндер и растворители тщательно перемешиваются в течение 5—8 ч. Пасты могут наноситься на поверхность керамики кисточкой, пульверизатором, окунанием, шелкографией, липкой металлизированной лентой и т. д. Толщина покрытия 30—85 мкм.

Вжигание обычно производится в электропечах конвейерного типа ПВТ-6, К-265 в смеси азота и водорода при соотношении от

1 : 3 до 1 : 1. Точка росы газа 10—33 °С. Температура вжигания для керамики, содержащей стекло (6—20%), 1250—1450 °С; с понижением содержания стекла температура вжигания повышается до 1650 °С. После нанесения слоя, состоящего в основном из молибдена (вольфрама), на его поверхность наносится второй слой (никель, железо, медь) обычно гальваническим или химическим способом.

Пайка металлокерамических узлов существенно отличается от пайки металлов, что объясняется спецификой физико-химических процессов, протекающих при пайке в керамике и металлизированном слое, а также в паяном шве вследствие термических напряжений, возникающих из-за различия ТКЛР (особенно при высокотемпературной пайке). Возникновение остаточных напряжений может приводить к деформации изделий или образованию трещин, а также поломке в эксплуатации изделия. Поэтому металлическая деталь должна быть изготовлена из материала с ТКЛР, близким к керамике. Температура пайки и скорость охлаждения определяют качество соединения. Наиболее широко применяется припой ПСр 72 для пайки металлизированной керамики с медью и коваром, медь МОб для пайки с коваром, припой ПСр 999 для пайки с низкоуглеродистыми сталями и железом. Наиболее плотные паяные швы получаются при пайке припоем ПСрМК72В, содержащем 0,5% Со.

ПАЙКА МЕТАЛЛА С КЕРАМИКОЙ СТЕКЛОПРИПОЯМИ

Стекла, эмали или глазури в расплавленном состоянии хорошо смачивают окисленные металлы и керамику, что создает условия для проведения пайки металлов с керамикой.

Для пайки в обыкновенной среде пригодны стеклоприпой системы $\text{SiO}_2\text{—ZnO—B}_2\text{O}_3\text{—PbO}$, а также припой системы $\text{V}_2\text{O}_5\text{—B}_2\text{O}_3\text{—ZnO}$ с более высокой температурой плавления.

5. Состав стеклоприпоев и температура пайки

Химический состав (массовая доля), %					Температура пайки, °С
Al_2O_3	CaO	SiO_2	MgO	MnO	
13	—	35	—	52	1160
19	—	29	—	52	1200
18	42	40	—	—	1300
—	38	56	6	—	1400
52	48	—	—	—	1450
35	—	50	15	—	1500
44	—	41	15	—	1600
18,5	9,2	62,9	9,4	—	1300

При пайке в восстановительной среде стеклоприпой не должны содержать легковосстанавливающихся оксидов, поэтому применяют оксиды SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MnO и BaO .

Шихта припоев подвергается варке в корундовых или платиновых тиглях. Жидкий стеклоприпой охлаждается в холодной воде. Стеклоприпой в виде паст, приготовленных из порошков, наносится на поверхность паяемых изделий, пайка проводится в печах с защитной или восстановительной атмосферой. Некоторые стеклоприпои и температура пайки приведены в табл. 5.

Пайка легкоплавкими стеклами, глазуриями или эмалями при температурах до 1000°C проводится в электропечах с обыкновенной атмосферой.

Пайка высокотемпературными стеклоприпоями керамики с тугоплавкими металлами проводится в печах с нейтральной или восстановительной атмосферой.

АКТИВНАЯ ПАЙКА

Для создания связи между металлами и неметаллическими материалами без нанесения металлических слоев может быть использована способность некоторых металлов восстанавливать другие металлы из оксидов (Al_2O_3 , SiO_2 , BeO , Cr_2O_3 и др.). К этим металлам относятся титан, цирконий, тантал, ниобий и др. Наилучшим восстановителем являются титан и цирконий. Введение их в любые высокотемпературные припои в количестве более 10% (по массе) активирует припой и позволяет производить пайку. Методом активной пайки в среде азота можно проводить пайку материалов, состоящих из оксидов металлов, керамики, алмаза, сапфира, карбида кремния, бора, кварца и др.

Цирконий и титан могут вводиться в припой непосредственно при изготовлении или напыляться на их поверхность. Для этих целей применяются медные, медно-никелевые, серебряные, никелевые, а также титановые и циркониевые припои. Титан и цирконий вследствие контактного плавления образуют с этими припоями легкоплавкие эвтектики, которые хорошо смачивают оксиды, керамику, графит, фарфор, сапфир, ситалл, феррит, окисленные металлы, нагретые в печи с обыкновенной и нейтральной атмосферой. Активные припои могут быть изготовлены в виде биметаллов, порошков, паст на акриловой смоле с растворителем Р5.

Пасты могут быть изготовлены из порошков припоя и гидридов титана, циркония или из одних гидридов, которые наносятся кисточкой, опрыскиванием, липкой металлизированной лентой. После высыхания и закрепления пасты изделие может подвергаться пайке в печах с обычной атмосферой и в вакууме.

ПАЙКА МЕТАЛЛОВ СО СТЕКЛОМ, КВАРЦЕМ

Пайка металла со стеклом имеет много общего с пайкой металла с керамикой. Различают два типа стекол в зависимости от ТКЛР, твердые — с низким и мягкие с высоким ТКЛР. При температурах в пределах 20—350 °С для твердых стекол ТКЛР равен $3,2 - 5,0 \cdot 10^{-6}$, для мягких $8,8 \cdot 10^{-6}$ [4].

Для получения согласованного спая соединяемые со стеклом металлы должны иметь весьма близкие ТКЛР. К таким металлам относятся молибден, вольфрам и их сплавы с танталом, ковар (54% Fe, 28% Ni и 18% Co), сплав Фернико-1 (54% Fe, 28% Ni и 18% Co), а также ферроникель с 43% Ni.

Низкотемпературная пайка стекла с металлами может проводиться после металлизации стекла спеканием суспензией порошков металлов, испарением и конденсацией в вакууме, восстановлением из оксидов, осаждением металлов из аэрозолей и соединений и катодным распылением. Перед нанесением поверхность стекла должна быть шероховатая — обработанная абразивами. Припой, применяемые для пайки металла с металлизированным слоем на стекле, не должны растворять его; например, медные поверхностные слои следует паять свинцовыми припоями типа ПСр3, ПСр2,5, а посеребренные слои припоями с содержанием 2% Ag (63% Pb, 30% Sn, 5% Cd и 2% Ag). Для лучшего сцепления металлического слоя со стеклом к суспензии серебра добавляют окись меди [5].

Стекло неметаллизированное с металлом может быть соединено с применением галлиевого припоя состава (массовые доли, %): Ga 39,6, Sn 4,4 и Cu 56. Легкоплавкие стекла, расплавленные эмали хорошо смачивают все металлы при условии наличия на их поверхности адсорбирующего слоя оксида, поэтому они могут быть использованы как припой. Возможно также нанесение на металл нескольких слоев стекол с различными ТКЛР для снижения остаточных напряжений в несогласованном спае. Пайка металлов со стеклом может проводиться с использованием активных припоев, в состав которых входит титан, цирконий или их гидриды.

При пайке кварца с металлом на кварц наносятся пленки меди, никеля, серебра, золота (гальванически, напылением, вжиганием) и по покрытиям проводится пайка паяльником малооловянистыми припоями с применением жидких флюсов.

В случаях применения активных припоев на поверхность кварца наносится слой титана или циркония. Пайка проводится в печах с применением припоев, содержащих олово, индий, галлий, а также припой ПСр72. В случае пайки кварца со сплавом 29НК припоем ПСр72 в печи с вакуумом кварц покрывается гидридом титана. При изготовлении пьезоэлектрических кварцевых

резонаторов пайку кварца проводят галлиевыми припоями, содержащими индий, олово и медь. Термообработку этих спаев выполняют при температуре выше 100°C в кислородсодержащей атмосфере.

Пайка сплава 29НК и латуни с кварцем, предварительно покрытом алюминием и медью, проводится припоем следующего состава (массовые доли, %): In 75, Zn 15,5, Ag 2,5, Bi 7. Пайку осуществляют при температуре $370\text{—}380^{\circ}\text{C}$, выдержка — 20 мин в печи с вакуумом $5\cdot 10^{-6}$ кПа, при сжатии спая — 3 МПа.

Процесс пайки стекла (кварца) с металлом может проводиться с использованием газового нагрева, индукционного, в печах, сопротивлением. Кварцевое стекло при пайке можно нагревать, доводя его до плавления. Лучшее качество пайки получается на согласованных спаях. На несогласованных спаях для уменьшения остаточных напряжений в стекле (кварце) используют разные способы пайки:

применение тонких проволок, фольги в конструкции металлической части спая;

использование металлов с низким пределом текучести;

создание конструкции спая с прослойками других стекол, металлов с промежуточным значением ТКЛР;

пайка припоями с большим интервалом кристаллизации.

В отдельных случаях достигается релаксация напряжений в паяном шве благодаря конструктивным решениям металлического и стеклянного элементов паяемого изделия.

В спае желательно иметь сжимающие напряжения. Охватываемую деталь в телескопическом соединении изготавливают из материала с большим ТКЛР. После пайки стекла (кварца) с металлом необходимо производить отжиг для снижения остаточных напряжений (режим отжига подбирается в зависимости от соединяемых материалов, конструкции спаев и используемого припоя).

ПАЙКА МЕТАЛЛОВ С ФЕРРИТАМИ, СИТАЛЛАМИ, САПФИРОМ

Ферриты — соединения оксидов, переходных металлов с окисью железа, паяют их в печах с защитной атмосферой или в вакууме 10^{-6} кПа при медленном нагреве ($20^{\circ}\text{C}/\text{мин}$). При покрытии поверхности ферритов никелем (напыление) пайку проводят медно-серебряным припоем, а без покрытий — с использованием активных припоев. Некоторые припои, режимы пайки и свойства паяных соединений приведены в табл. 6.

Ситаллы — стеклокристаллические материалы, состоящие в основном из оксидов Al_2O_3 , MgO , SiO_2 , Li_2O и солей. Для проведения пайки их с металлами на металл наносят покрытия. Возможно облуживание поверхности натиранием галлиевым припоем или ультразвуковым паяльником с титановым наконечником.

6. Припой, режимы пайки ситалла и ферритов с металлами

Паяемые материалы	Припой, покрытие (толщина)	Режим пайки			$\sigma_{в}$, МПа
		Температура, °C	Время, мин	Среда, флюс, способ пайки	
Ситалл ($\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$) + медь MI + сплав 29НК	ПСр 2,5, серебро, $\delta = 10 \div 15$ мкм	350	1—3	КЭ	—
Ситалл ($\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$) + медь MI + 29НК	ПОС 40, серебро, $\delta = 10 \div 15$ мкм	260	1—3	КЭ	—
Ситалл	39,6% Ga; 4,4% Sn; 56% Cu	100	—	Ультразвуковой паяльник	—
30 СЧ-2 (покрытие — Nb) + титан	ПСр 72В	780	1	—	24
30 СЧ-3 (покрытие — Ni) + Фени 46	ПСр 65 ПСр 72В	780	1 1	— —	2,5 3,1
30 СЧ-3 (покрытие — Ni) + 47НД	ПСр 72В	780	1	—	13
30 СЧ-4 (покрытие — Ni) + 29 НК	ПСр 72	780	1	—	3,2
30 СЧ-6 + ВТ1-0	ПСр 72В	880 780	3	— —	27 17

Сапфир-минерал является разновидностью корунда, подвергается пайке по предварительно нанесенному покрытию-напылению или высокотемпературной пайке с использованием активных припоев в печах с защитной атмосферой.

ПАЙКА МЕТАЛЛОВ С ГРАФИТОМ

При пайке металла с графитом встречаются трудности, обусловленные различием физико-механических свойств (теплопроводности, модуля упругости, прочности и особенно теплового расширения) соединяемых материалов. Это приводит в процессе пайки к образованию напряжений, превышающих предел прочности графита, к разрушениям. Снизить уровень напряжений возможно путем: создания согласованного спая; уменьшения температуры пайки; применения пластичных припоев; применение

7. Припой, режимы пайки и свойства паяных соединений графита с металлами

Паяемые материалы	Состав припоя (массовая доля, %) или способ пайки	Режим пайки			Свойства паяных соединений	
		Температура, °C	Время, мин	Среда, давление сжатия	Температура испытания, °C	$\sigma_{\text{в}}$, МПа
Графит + сплав 29НК с зазором 0,012—0,025 мм	На титановой основе с эвтектикой Cu—Ag	950	15—25	Вакуум, $133,3 \cdot 10^{-4}$ Па	—	—
Графит ГМЗ + Ст3	Контактно-реактивная пайка	1150	5	$1,7 \cdot 10^7$ Па	20 600 1000	11 5 3
	Cu 80; Sn 10; Ti 10				20 600	11 7,5
	Cu 90; Ti 1; Si 9				20	4,5
	Pb 52; Sn 36; Sb 1,5 Ti 10,5				20 600	11 5,5
	Cu 56, Sb 1, Zn 37, Si 0,5, Ti 5,5.	950			600	5,5
	Cu 59, Sn 0,5, Zn 35,5, Si 0,5, Ti 4,5					4,5
	Cu 52, Sn 0,5, Mn 9,5, Ni 4, Zn 28, Al 0,5, Ti 5,5					3,5
	Графит БСГ + Ст3	(ПОС 40) 90, Cu 10			650	30

8. Составы припоев, режимы пайки графита с медью и свойства паяных соединений

Паяемые материалы	Состав припоя (массовая доля, %) или способ пайки	Режим пайки			$\sigma_{\text{в}}$, МПа
		Температура, °C	Время, мин	Среда, давление сжатия	
Медная проволока с графитовым блоком или графитизированной тканью	Cu 70; Ti 30	1000	10	Вакуум, $666,5 \cdot 10^{-4}$ Па	—
Графит ГМЗ + медь М1	Cu 45; Ag 45; Ti 10	900	—	Аргон	8,2
	Цирконий	900	—		6,5
	Контактно-реактивная пайка	950	—		4,8
		1000	—		7,5
	Cu 45; Ag 45; Ti 10	850	—		9,2
		900	—		9,5
		950	—		8,3
	Титан	900	—		3,2
	Контактно-реактивная пайка	950	—		6,0
		1000	—		6,8
Меденный электролитический графит + медь М1	(ПСр 45) 90; Ti 10	900	10	Аргон, $0,5 \cdot 10^5$ Па	—

ния в шве проволок из материалов, близких по ТКЛР (молибдена, вольфрама, титана, циркония); создания за счет конструкции соединения с сжимающими остаточными напряжениями; применения припоев с более низкой температурой плавления и большим интервалом кристаллизации.

Графит практически не смачивается низкотемпературными припоями на основе олова, свинца, висмута, кадмия, поэтому на поверхность его перед пайкой предварительно наносится покрытие (электролитически, пропиткой поверхности медью, напылением слоем 15—20 мкм меди или никеля). Пайка низкотемпературными припоями графита и графитовых материалов с ме-

9. Состав припоев, режимы пайки и свойства паяных соединений силицированных и борсилицированных графитов с металлами

Паяемые материалы	Состав припоя (массовая доля), %	Режим пайки			Темпе- ратура испыта- ния, °C	$\sigma_B \cdot 10^{-3}$, Па
		Темпера- тура, °C	Время, мин	Среда, давление		
СТ-М + 12Х18Н10Т	Cu 80; Ti 20	1100—1200	3—5	Аргон, (0,3÷0,8) 10 ³ Па	20 800	18—41 14—52
	Cu 80; Sn 10; Ti 10				20 800	37—84 44—81
СТ-М + Ст3	Cu 45, Ag 45, Ti 10	950—1050	5—15	Флюс ПБ-209, (0,3 ÷ 0,8) 10 ³ Па	20	65—90
	Sn 85—95, Ti 5—15	900—1200				
БСГ-30 + Ст3	Cu 80, Ti 20 Mn 70, Ni 20, Sn 5, Ti 5	1200—1300	3—5	Аргон, (0,3÷0,9) 10 ³ Па		4—10
		1100—1300				18—30
БСГ-30 (медный) + Ст3	Л63	950—1050	5—15	Бура, (0,3÷0,8) 10 ³ Па		90—130

таллами (сталь, медь, никелевые сплавы и др.) проводится паяльником с использованием жидких флюсов. Графит при высокотемпературной пайке хорошо смачивается припоями, содержащими карбидообразующие металлы (титан, цирконий, кремний, гафний, ванадий, ниобий, вольфрам, молибден и др.), находясь в защитных средах и в вакууме. Используются капиллярная, контактно-реактивная и диффузионная пайка.

Составы некоторых припоев для пайки графита с металлами приведены в табл. 7.

Пайка графита с медью осуществляется за счет применения припоев, содержащих карбидообразующие металлы (титан, цирконий, никель и др.) на основе меди или серебра. Она может проводиться в печах с защитной атмосферой, в вакууме, а также на воздухе с использованием флюсов ПВ200, ПВ201 и ПВ209. Припой, режимы пайки некоторых соединений графита с медью и их свойства приведены в табл. 8.

Широко применяются в конструкциях паяные соединения графита с тугоплавкими металлами — молибденом, ниобием, танталом, титаном, цирконием, вольфрамом. Они выполняются в печах с контролируемой атмосферой (аргон, гелий, вакуум), а также в вакуумной камере с использованием электронного луча и электрической дуги. При высокотемпературной пайке в контакте с графитом образуются охрупчивающие карбидные слои, что чаще всего приводит к образованию трещин. Во избежание этого на поверхность твердых металлов или графита наносят барьерные покрытия плазменным или электролитическим способом. Эти покрытия состоят из пластичных некарбидообразующих металлов. В качестве припоев применяются активные припои [6].

Пайка силицированного и боросилицированного графита проводится с применением активных припоев в печах с защитной атмосферой. Составы припоев, режимы пайки и свойства паяных соединений силицированных графитов с металлами приведены в табл. 9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по пайке. 2-е изд., перераб. и доп./Под ред. И. Е. Петрунина. М.: Машиностроение, 1984. 400 с.
2. Jenny A. L. Soldered. Cermic-to-Metal Seals «Product Engineering», 18. № 12. 1947. 154—157.
3. Справочник по пайке/Под ред. С. Н. Лощманова, И. Е. Петрунина, В. П. Фролова. М.: Машиностроение, 1975. 303 с.
4. Спай металла со стеклом/Перевод ред. Р. А. Нилейдера. «Советское радио», 1951. 250 с.
5. Vogt H. G. Metallized glass for low cost joining of glass to metal «Materials and Methods» 25. № 6. 1947. 81—83.
6. Аникин Я. Т., Дергунова В. С., Кравецкий Г. А. Пайка и сварка графита. М.: Металлургия, 1978. 136 с.

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОЧНОСТЬ ПАЯНЫХ ИЗДЕЛИЙ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Основные правила и нормы разработки, оформления, обращения конструкторской документации на изделия обусловлены Единой системой конструкторской документации (ЕСКД).

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии.

Согласно ГОСТ 2.101—68* (СТ СЭВ 364—76) установлены следующие виды изделий:

детали — изделия, изготовленные из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций;

сборочные единицы — изделия, составные части которых подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (пайкой, сваркой, клепкой, склеиванием и др.);

комплекс — два и более специфированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций;

комплект — два и более изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера.

Для изделий всех отраслей промышленности установлены виды конструкторских документов:

чертеж детали — документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля;

сборочный чертеж — документ, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки (изготовления) и контроля;

чертеж общего вида — документ, определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его основных составных частей и поясняющий принцип работы изделия. Другие графические и текстовые документы конструкторских разработок ГОСТ 2.102—68.

Принятые размеры и обозначения форматов листов чертежей по ГОСТ 2.301—68* приведены в табл. 1.

Конструкторская документация на разрабатываемое изделие по ГОСТ 2.102—68* в зависимости от стадии разработки подразделяется на проектную (техническое предложение, эскизный проект, технический проект) и рабочую (рабочая документация). При разработке технической документации содержание техниче-

1. Обозначение форматов чертежей

Обозначение формата	Размеры сторон формата, мм
A0	841×1189
A1	594×841
A2	420×594
A3	297×420
A4	210×297

Допускается формат A5 размером 148×210 мм и производные указанных форматов.

ского задания определяют совместно заказчик и разработчик, при инициативной разработке изделия — непосредственно разработчик.

В техническом задании наряду с показателями назначения изделия должны быть отражены вопросы техники безопасности, производственной санитарии, охраны окружающей среды. В качестве технического задания допускается использовать контракт, протокол, эскиз

и другие документы, содержащие необходимые требования к разрабатываемому изделию, а также непосредственно образец изделия, если таковой необходимо воспроизвести. Согласно ГОСТ 2.103—68* определено содержание стадий разработки конструкторской документации.

Техническое предложение — подбор материалов, разработка технического предложения с присвоением литеры «П», рассмотрение и утверждение предложения. Техническое предложение разрабатывается, если это предусмотрено техническим заданием в соответствии с ГОСТ 2.118—73* с целью выявления дополнительных или уточненных требований к изделию.

Эскизный проект — разработка проекта с присвоением литеры «Э», изготовление и испытание макетов (при необходимости), рассмотрение и утверждение эскизного проекта.

Технический проект — разработка технического проекта с присвоением литеры «Т», изготовление и испытание макетов (при необходимости), рассмотрение и утверждение технического проекта. Согласно ГОСТ 2.120—73* технический проект разрабатывается, если это предусмотрено техническим заданием, протоколом рассмотрения технического предложения или эскизного проекта. Перечень документации, входящей в состав технического проекта, приведен в приложении к этому ГОСТу.

Рабочая конструкторская документация: а) разработка конструкторской документации, предназначенной для изготовления и испытания опытного образца без присвоения литеры; корректировка чертежей и присвоение литеры «О»; после приемочных испытаний опытного образца корректировка чертежей и присвоение литеры «О₁». При необходимости изготовления и испытания повторного образца и корректировки чертежей последним присваиваются литеры «О₂»;

б) разработка конструкторской документации, предназначенной для серийного (массового) производства, изготовление и испытание

тание установочной серии по документации с литерой «О₁» или «О₂».

Основные требования к выполнению чертежей деталей, сборочных, габаритных и монтажных чертежей на стадии разработки рабочей документации изложены в ГОСТ 2.109—73. Порядок контроля в конструкторской документации норм и требований, установленных стандартами и другими нормативно-техническими документами, изложен в ГОСТ 2.111—68*. Требования к текстовым документам и порядок их оформления регламентируют ГОСТ 2.105—79 и 2.106—68.

Технические условия — документ, содержащий требования (совокупность всех показателей, норм, правил и положений) к изделию, его изготовлению, контролю, приемке и поставке, которые не указаны в других конструкторских документах (ГОСТ 2.114—70). Для всех отраслей промышленности установлены единые правила построения и оформления технических условий на изделия.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ПАЯНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Специфика конструирования паяного изделия определяется тем, что соединение его сборочных единиц осуществляется пайкой. Поэтому важным условием создания таких изделий является разработка конструкций, пригодных для механизированной пайки. Необходимо использовать преимущества пайки, позволяющие экономить металл путем сокращения обработки резанием, применять бесфлюсовые методы пайки, сокращать применение припоев на основе дефицитных металлов.

Общим требованием при конструировании паяных изделий является обеспечение их технологичности.

В соответствии с ГОСТ 14.205—83 под технологичностью понимается совокупность свойств изделия, определяющих оптимальность затрат на его производство, эксплуатацию и ремонт. Эти требования должны быть реализованы и при создании паяных изделий, в процессе конструирования которых в первую очередь обращается внимание на выбор способа пайки, припоя, типа паяного соединения в соответствии со свойствами основного металла и требованиями к изделию.

Наиболее типичным для пайки является нахлесточное соединение. Равнопрочность нахлесточного соединения обеспечивается при перекрытии, превышающем три толщины наиболее тонкого элемента соединения. При применении высокопрочных припоев это условие может быть соблюдено при меньшей нахлестке. Недостатком нахлесточного соединения является подверженность при растягивающих или сжимающих нагрузках воздействию изгибающего момента, вызывающего его деформации.

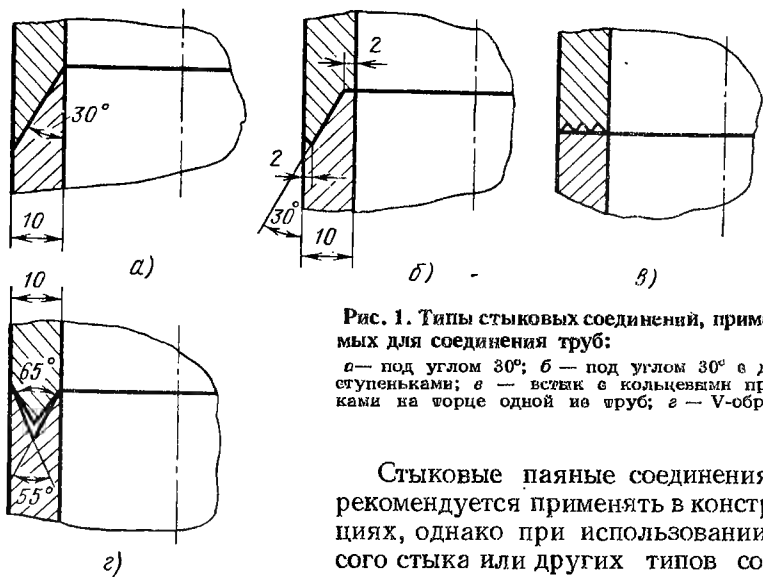


Рис. 1. Типы стыковых соединений, применяемых для соединения труб:

а — под углом 30° ; б — под углом 30° в два ступеньками; в — встык с кольцевыми проточками на торце одной из труб; г — V-образное

Стыковые паяные соединения не рекомендуется применять в конструкциях, однако при использовании косого стыка или других типов соединений встык, приведенных на рис. 1, и высокопрочных припоев можно обеспечить равнопрочность соединения и основного металла. Применение таких соединений при обсадке нефтяных скважин, при сочленении труб тепловых электростанций, бурильных труб показало, что и в условиях высокого нагружения можно обеспечить равнопрочность стыка телу трубы.

Равнопрочными считаются детали, имеющие одинаковый запас прочности по отношению к действующим нагрузкам. При действии изгибающих нагрузок равнопрочность обеспечивается, когда соблюдается равенство отношения рабочего изгибающего момента в каждом сечении к моменту сопротивления этого сечения, в случае кручения — при равенстве моментов сопротивления кручения каждого сечения детали. В условиях сложного напряженного состояния равнопрочными считаются детали, у которых максимальные напряжения в каждом сечении одинаковы.

Из конструктивных факторов на прочность паяного соединения определяющее влияние оказывает равномерность зазора в соединении. Оптимальные значения зазоров в зависимости от состава основного металла и припоя приведены в табл. 2.

При температуре пайки при соединении разнородных материалов за счет термического расширения зазор, установленный при сборке под пайку, изменяет свое значение. Поэтому исходный зазор необходимо устанавливать с учетом допуска на его изменение при температуре пайки.

Конструктивные решения различных типов паяных соединений приведены на рис. 2, а и б. Важным условием конструирования

2. Зазоры, применяемые при пайке

Основной металл	Припой	Зазор, мм
Углеродистая сталь	Медь	0,05—0,10
	Латунь	0,05—0,30
	Серебряные	0,05—0,15
Коррозионно-стойкая сталь	Медь	0,02—0,15
	Латунь	0,05—0,30
	Серебряные	0,05—0,15
	Никель-хромовые	0,05—0,20
Медь и медные сплавы	Медно-цинковые	0,10—0,30
	Медно-фосфористые	0,02—0,15
	Серебряные	0,03—0,15
Титан	Серебро	0,05—0,10
	Серебряно-марганцевые	0,05—0,1
Алюминий	На алюминиевой основе	0,10—0,30

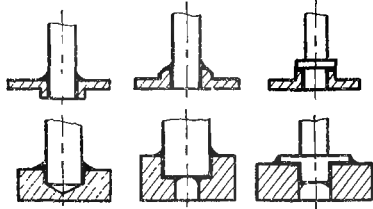
Примечание. Припои на железной основе обеспечивают равнопрочность соединения при значительно больших зазорах. Аналогичный эффект достигается при применении композиционных припоев, обеспечивающих пайку при зазоре до 1 мм.

Паяного изделия является обеспечение условий подачи припоя, что особенно необходимо учитывать при механизированной пайке. Наиболее рациональным способом гарантированного заполнения вазора припоем является предварительное внесение его в виде фольги, сетки, покрытия, порошка припоя на полимерной связке и т. п. Положительное влияние на формирование паяного соединения, особенно в крупногабаритных изделиях, оказывает применение осадки в ходе завершения процесса пайки.

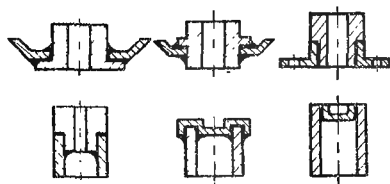
При конструировании паяных изделий, представляющих замкнутые полости, должны быть предусмотрены условия свободного газообмена в процессе пайки. При выборе материалов для паяных изделий необходимо учитывать нагрузки, действующие на изделие, свойства материалов, выбранный способ пайки, состав припоя, условия эксплуатации изделия. Современные требования по миниатюризации изделий, повышенная чувствительность к тепловым, вибрационным нагрузкам также выдвигают соответствующие требования к выбору материалов.

Основной метод расчета на прочность при конструировании изделия — по напряжениям, возникающим в наиболее нагруженных элементах. Напряжение в элементе конструкции не должно

*Соединение стержней с
элементами изделий*



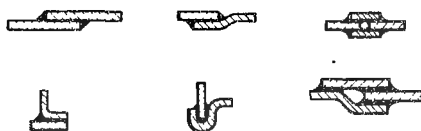
*Припайка втулок, фланцев,
ниппелей, заглушек*



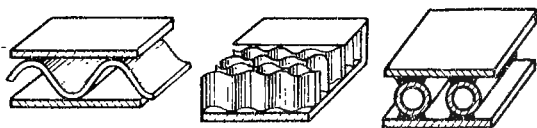
*Соединение тонкостен-
ных труб*



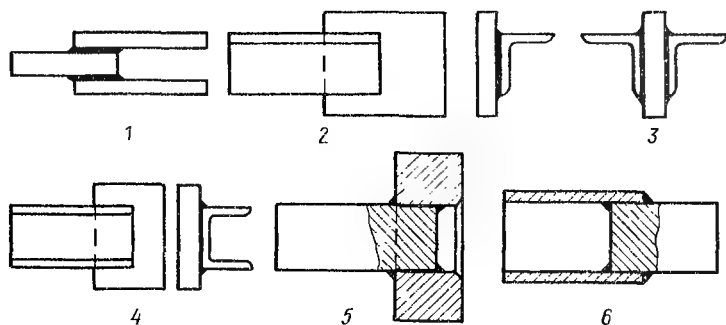
*Соединения в конструк-
циях из листа*



*Соединения в сото-
вых конструкциях*



а)



б)

превышать определенного значения для данного материала и изделия:

$$\sigma_{\max} = \frac{\sigma}{n},$$

где σ — предельное для данного материала напряжение; n — коэффициент запаса прочности.

Запас прочности в зависимости от назначения изделия и его ответственности может иметь значение 1,5—3.

При конструировании паяного изделия сложной конфигурации целесообразно расчленять его на отдельные элементы, которые соединяются пайкой. Следует избегать в этом случае сосредоточения паяных швов, особенно в зонах высоких напряжений. Паяные соединения необходимо располагать таким образом, чтобы пайку можно было провести за один прием с применением механизированных способов. В тех случаях, когда необходимо проводить ступенчатую пайку, т. е. пайку, не нарушающую ранее выполненные паяные соединения, назначаются несколько припоев с соответствующей температурой плавления. При конструировании необходимо учитывать специфику сборки изделия, подготовки к пайке, протекания процесса пайки и обработку изделия после пайки. Конструкция паяного узла должна предусматривать оптимальные условия течения расплава припоя в зазоре и свободный выход газов и шлаков.

Современное состояние технологии производства позволяет обеспечить изготовление паяных изделий с применением неметаллических материалов. В последнем случае при конструировании необходим учет факторов, связанных не только с процессом образования паяного соединения, но и с влиянием нагрева на изменение геометрических размеров и физических свойств различных по природе материалов. Правила оформления документации на процессы пайки регламентированы ГОСТ 3.1407—86. Не последней задачей при конструировании паяного изделия является соблюдение требований эстетики.

Изделие должно быть надежным, иметь высокий технический ресурс, быть простым и безопасным в обслуживании [1, 2].

К изделию могут предъявляться специальные требования, которые определяются его функциональным назначением. Комплекс основных требований к изделию закладывается в техническом задании на его разработку, в котором указываются показатели изделия, условия и область его применения. Эти требования определяет ГОСТ 15.001—88 «Продукция производственно-технического назначения».

Рис. 2. Конструктивные решения, применяемые при разработке паяных изделий: а — малогабаритных и ходовых; б — крупногабаритных

ПРОЧНОСТЬ ПАЯНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Прочность твердых тел зависит от свойств материала, его структуры, формы и размера изделия, характера и продолжительности действия нагрузок, состояния окружающей среды и других факторов.

Прочность материалов в технике оценивается в единицах напряжений, которые измеряются силой, деленной на площадь. В международной системе единиц (СИ) напряжение измеряется в паскалях (ньютонах на квадратный метр). Чаще используют более крупную единицу $1 \text{ Н/мм}^2 = 9,81 \text{ МПа}$.

Если действующая на изделие сила имеет произвольное направление по отношению к рассматриваемому сечению, то она вызывает как нормальное, так и касательные напряжения в сечении. Прочность паяных изделий может быть оценена на основе анализа прочности наиболее распространенных типов паяных соединений (ГОСТ 19249—73). Практически они сводятся к четырем основным разновидностям: нахлесточному соединению, стыковому, косостыковому и тавровому (рис. 3). В нахлесточных соединениях размер нахлестки l определяется из соотношения

$$l = \frac{F [\sigma]_p}{b [\tau']_{\text{ср}}},$$

где F — площадь сечения листа основного металла; b — ширина нахлесточного соединения; $[\tau']_{\text{ср}}$ — допускаемое напряжение при

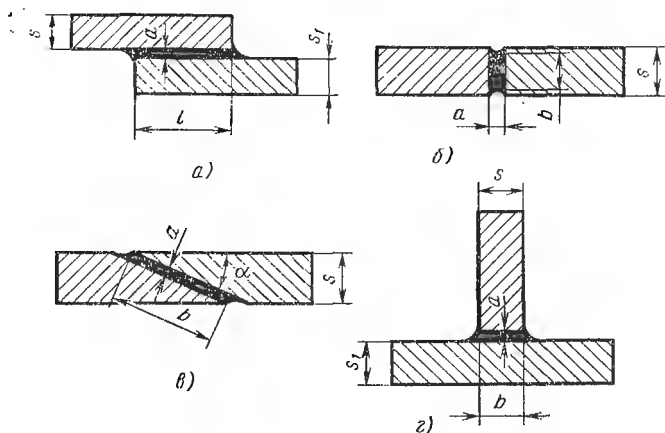


Рис. 3. Основные типы паяных соединений:

a — нахлесточное; $б$ — стыковое; $в$ — косостыковое; $г$ — тавровое; s — толщина листа; a — толщина шва; a — ширина шва; α — угол скоса; l — величина нахлестки

срезе паяных соединений; $[\sigma]_p$ — допускаемое напряжение для основного металла изделия при растяжении.

При соединении трубчатых элементов внахлестку перекрытие определяется из соотношения

$$l = \frac{F [\sigma]_p}{2\pi R [\tau']_{cp}},$$

где R — радиус трубы.

При тавровом соединении, работающем на изгиб, напряжения на срез определяются по формуле Журавского:

$$\tau = \frac{QS}{J s_B} \leq [\tau']_{cp},$$

где Q — поперечная сила в элементе, испытывающем поперечный изгиб; S — статический момент площади пояса относительно центра тяжести сечения; J — момент инерции всего сечения; s_B — толщина вертикальной стенки, соответствующая ширине шва.

Если элемент работает на растягивающие нагрузки, то при стыковом соединении

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq [\sigma]_p,$$

где P — нагрузка; F — площадь сечения наиболее слабого из соединяемых пайкой элементов конструкции; $[\sigma]_p$ — допускаемое напряжение для основного металла изделия при растяжении.

При работе элемента паяной конструкции на сжатие расчет стыкового соединения ведется по формуле

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq [\sigma]_{сж},$$

где $[\sigma]_{сж}$ — допускаемое напряжение для элемента основного металла при сжатии.

Стыковые паяные соединения при нагружении работают аналогично сварным с мягкой прослойкой. Прочность их зависит от толщины шва. При пайке низкоуглеродистой электротехнической стали (железо Армко) медью с уменьшением зазора от 2 до 0,3 мм предел прочности соединений встык возрастает с 255 МПа (выше предела прочности припоя в исходном состоянии) до 338 МПа (соответствует пределу прочности железа). При зазоре 0,3 мм медная прослойка равнопрочна с паемым металлом. При дальнейшем уменьшении зазора шов становится прочнее основного металла. При механических испытаниях разрушение образцов происходит по основному металлу и прочность стыковых соединений, выполненных с зазором 0,15 мм и менее, перестает зависеть от толщины медной прослойки.

С уменьшением зазора содержание паемого металла в зоне сплавления возрастает, поэтому зависимость прочности паяного

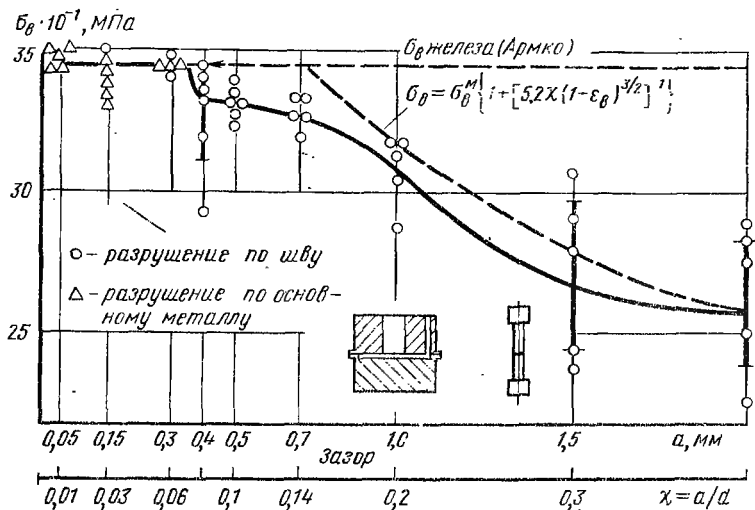


Рис. 4. Зависимость предела прочности $\sigma_{\text{в}}$ паяных соединений от толщины шва, экспериментальные (сплошная линия) и расчетные (пунктирная линия) значения прочности. Прочность меди принята 200 МПа, удлинение 40%

соединения от размера зазора может быть объяснена различной прочностью образующегося в шве сплава, изменением его структуры с уменьшением зазора и «контактным упрочнением».

Эффективность «контактного упрочнения» в случае стыкового соединения стержней возрастает с уменьшением отношения толщины шва (толщины мягкой прослойки) к диаметру стержня. В результате нормальные напряжения в прослойке могут значительно превысить предел прочности ее материала, определенный при свободной деформации [3, 4]. Для вязкого разрушения соединения по мягкой прослойке зависимость прочности соединения от механических свойств материала прослойки и ее размеров имеет вид

$$\sigma_{\text{в}} = \sigma_{\text{в}}^{\text{М}} \{1 + [3 \sqrt{3} \chi (1 + \varepsilon_{\text{в}})^{3/2}]^{-1}\},$$

где $\sigma_{\text{в}}^{\text{М}}$, $\varepsilon_{\text{в}}$ — соответственно предел прочности и относительное удлинение материала прослойки в исходном состоянии; χ — отношение толщины шва (толщины прослойки) к диаметру (d) стержня.

Характер изменения предела прочности от размера зазора при пайке низкоуглеродистой электротехнической стали (железо Армко) медью встык приведен на рис. 4. При зазорах менее 0,3 мм образцы под нагрузкой разрушаются, как правило, не по шву, а по основному металлу.

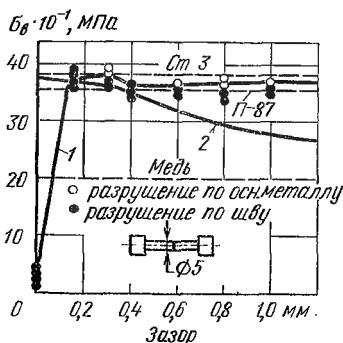


Рис. 5. Зависимость прочности соединений из стали Ст3, паянных припоем П-87 (1) и медью (2), от величины зазора (стыковые соединения)

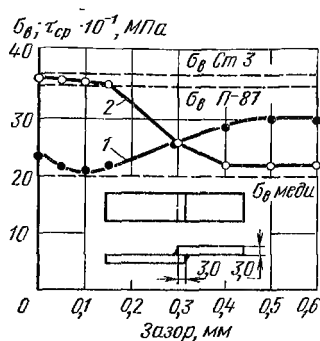


Рис. 6. Зависимость прочности соединений из стали Ст3, паянных припоем П-87 (1) и медью (2), в зависимости от величины зазора (нахлесточные соединения)

Несмотря на преимущества пайки с применением малых заворов, практическое использование такой технологии вызывает большие технические затруднения и экономически нецелесообразно. Поэтому (особенно в производстве крупногабаритных изделий) применяют различные приемы, обеспечивающие высокую прочность соединений при больших зазорах. Одним из путей решения этой задачи является применение специальных припоев. На рис. 5 приведены зависимости, характеризующие изменение в зависимости от зазора прочности стыковых образцов из стали Ст3, паянных припоем П-87 на железной основе, и образцов из той же стали, паянных медью. Если при зазорах до 0,2 мм прочность образцов, паянных медью, выше, то с увеличением зазора прочность образцов, паянных медью, снижается, а прочность образцов, паянных припоем П-87, сохраняется неизменной на уровне стали Ст3 вплоть до зазора 1,2 мм. Если при пайке медью нахлесточных образцов из стали Ст3 (рис. 6) прочность паяных соединений резко снижается при зазорах свыше 0,15 мм, то при пайке припоем П-87 с увеличением зазора она достигает максимума лишь при зазорах 0,4—0,6 мм и далее не снижается до заворов 1,0—1,2 мм.

Прочность паяных соединений резко меняется в зависимости от режима пайки. С увеличением температуры пайки усиливаются процессы взаимодействия как в зоне шва, так и в основном металле, подвергаемом нагреву до высоких температур. При низкотемпературной пайке воздействие условий пайки на основной металл сказывается в меньшей мере.

При пайке в газовых средах прочность паяных соединений резко изменяется в зависимости от повышения температуры пайки,

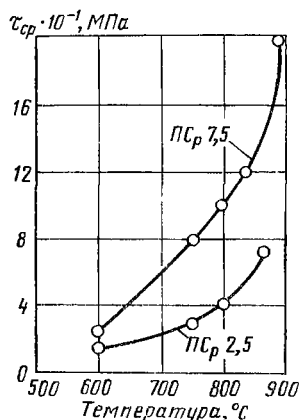


Рис. 7. Зависимость прочности от температуры пайки при соединении меди припоями ПСр 7,5 и ПСр 2,5

соответственно усиливается воздействие нагрева на основной металл. На рис. 7 приведена зависимость прочности соединений при пайке меди низкотемпературными припоями ПСр 2,5 и ПСр 7,5 на свинцовой основе от температуры пайки. С повышением температуры пайки, при прочих равных условиях, прочность возрастает, что связано с обогащением зоны шва компонентами основного металла. Роль продолжительности выдержки при температуре

пайки можно проследить на рис. 8, на котором приведены зависимости прочности соединений из стали Ст3, паянных медью и припоями на железной основе П-80 и П-87 в среде водорода с точкой росы минус 50 °C от времени выдержки при температуре пайки. При выдержке до 50–100 с прочность нарастает, что обусловлено уровнем развития процессов взаимодействия между основным металлом и расплавом припоя.

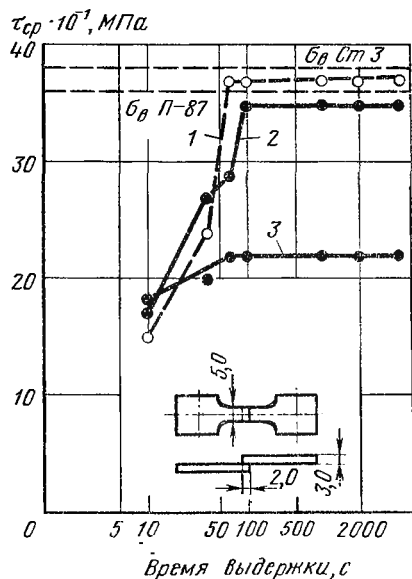


Рис. 8. Зависимость предела прочности на срез $\tau_{ср}$ при пайке стали марки Ст3 припоями П-80 (1), П-87 (2) и медью (3) в зависимости от времени выдержки при температуре пайки

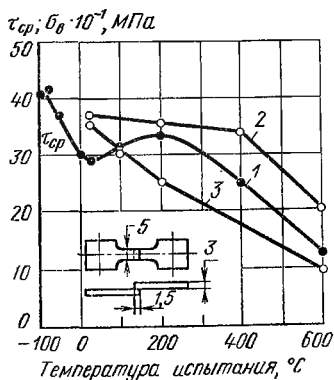


Рис. 9. Зависимость предела прочности на срез образцов из стали Ст3, паянных припоем П-87 (1), от температуры испытания. Предел прочности σ_v стали Ст3 (2) и припоя П-87 (3)

3. Зависимость прочности паяного соединения от состава основного металла и припоя

Основной металл	Предел прочности на срез $\tau_{ср} \cdot 10^{-1}$, МПа, при пайке припоем		
	ПСр 40	ПСр 45	ПСр 25КН
X18H9T	24—29	18—26	19—24
40XHMA	33—46	—	—
30XГСА	35—46	35—41	35—43
Медь	>25	>25	>25

4. Прочность соединений, паянных серебряными припоями при разных температурах испытания

Основной металл	Припой	Предел прочности на срез $\tau_{ср} \cdot 10^{-1}$, МПа, при температуре испытания, °С			
		300	300	400	600
X18H9T	ПСр 45	—	16—24	14,5—15	3—4
15X18H12C4TЮ	ПСр 40	22—32	15—17	5—9	—
X18H9T	ПСр 37,5	—	31—35	—	11—18
15X18H12C4TЮ	ПСр 25КН	27—33	12—19	6—11	—

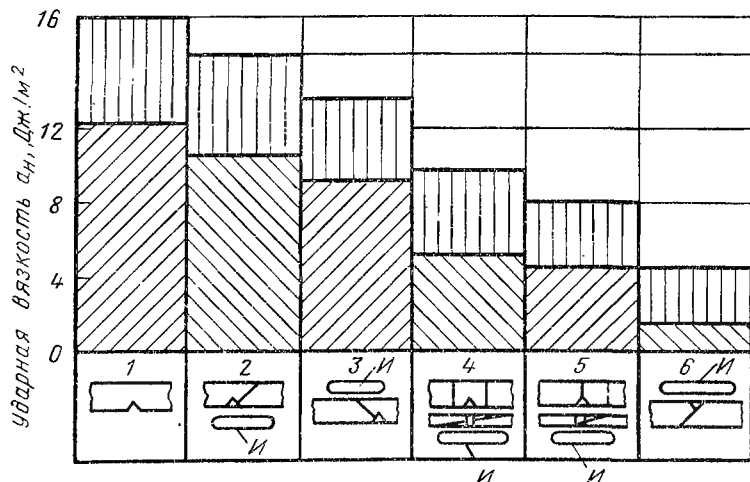


Рис. 10. Ударная вязкость стали 20, припоя П-87 и паяных припоем П-87 соединений в зависимости от расположения индуктора при пайке и места надреза в образце: 1 — сталь 20; 2 — 6 — соединения из стали 20, пайка припоем П-87

5. Прочность соединений, паянных припоем ВПр1 на основе меди при разных температурах испытания

Основной металл	Предел прочности на срез $\tau_{ср} \cdot 10^{-1}$, МПа, при температуре испытания, °С					
	—60	—20	200	400	500	600
X18H9T	43—58	37—50	30—40	19—22	—	9—16
09X15H8Ю	25—30	21—30	20—30	19—24	12—20	—
08X17H5M3	19—22	21—25	19—23	21—25	9—13	—

Влияние состава и свойств основного металла на прочность паяных соединений можно оценить на примере пайки серебряными припоями (табл. 3).

Паяные соединения должны обладать теплопрочностью в случае эксплуатации их при повышенных температурах. Зависимость прочности нахлесточных паяных соединений (при нахлестке, равной половине толщины листа) из стали Ст3, паянных припоем

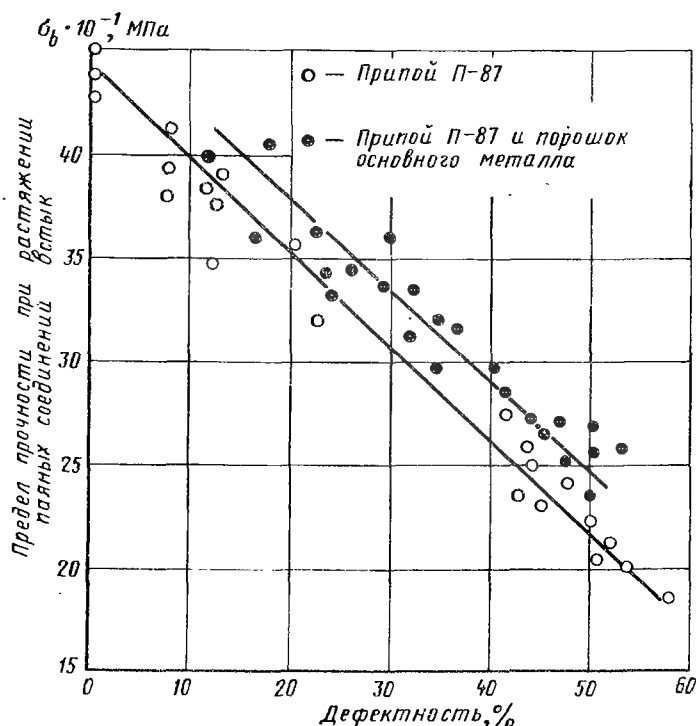


Рис. 11. Прочность стыкового соединения из стали Ст3сп (припой П-87) в зависимости от дефектности шва

6. Прочность паяных соединений при пайке припоем ПОС 40

Основной металл	Предел прочности на срез $\tau_{ср} \cdot 10^{-1}$, МПа, при температуре испытания, °C					
	-196	-183	-95	-60	+20	+85
Медь МЗ	3,5	3,3	3,4	3,5	2,7	1,6
Латунь Л63	2,9	2,9	3,1	2,7	2,2	1,4
Сталь 20	6,0	5,5	5,5	5,1	2,8	2,2
Сталь Х18Н9Т	3,0	3,4	3,0	5,0	3,2	2,0

П-87, от температуры испытания, приведена на рис. 9. Прочность соединения изменяется по тому же закону, что и для основного металла.

Прочность соединений, паяных серебряными припоями при разных температурах испытания, приведена в табл. 4, жаропрочными припоями на основе меди — в табл. 5.

Прочность паяных соединений при пайке низкотемпературным припоем ПОС 40 приведена в табл. 6.

При ударных нагрузках прочность паяных соединений, наряду с отмеченными факторами, зависит от типа паяного соедине-

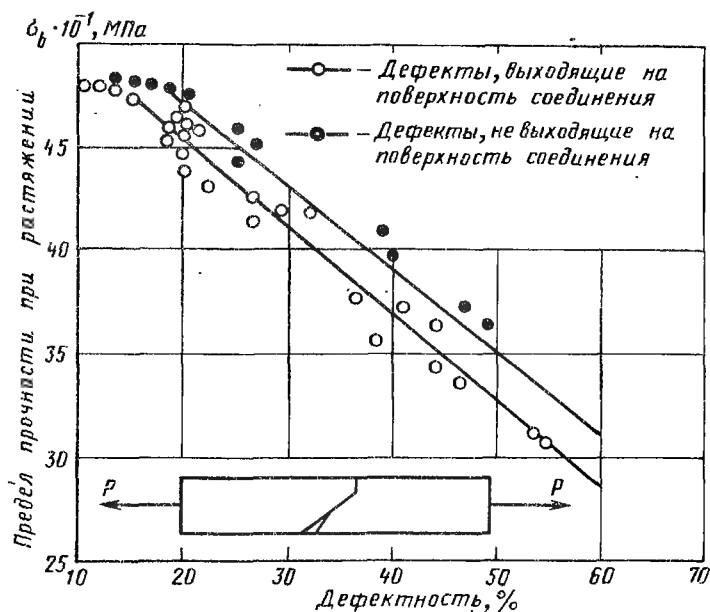


Рис. 12. Прочность косостыкового соединения из стали 20 (припой П-87) в зависимости от дефектности шва

ния и условий нагрева при пайке, характера и места расположения дефектов [5]. Ударная вязкость паяного соединения зависит от мест надреза испытуемого образца и расположения индуктора (рис. 10). Наличие дефектов в паяном шве, особенно выходящих на поверхность (надрез), характер нагрева под пайку (место расположения индуктора при пайке с высокочастотным нагревом) оказывают значительное влияние на прочностные свойства паяных соединений (рис. 11 и 12). Прочность паяных изделий зависит также от состава окружающей среды, формы и размеров изделия, характера изменения нагрузки и от других факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов П. И. Основы конструирования, в 2-х книгах. М.: Машиностроение, 1988. Кн. 1. С. 9—47.
2. Михельсон-Ткач В. Л. Повышение технологичности конструкций. М.: Машиностроение, 1988. 104 с.
3. Бакши О. А., Шрон Р. З. Прочность при статическом растяжении сварных соединений с мягкой прослойкой//Сварочное производство. 1962. № 5. С. 6—10.
4. Шрон Р. З., Бакши О. А. К вопросу об оценке прочности сварных соединений с мягкой прослойкой//Сварочное производство. 1962. № 9. С. 11—15.
5. Пайка при производстве крупногабаритных строительных конструкций/И. Е. Петрунин, П. К. Мороз, Г. Н. Стрекалов, Ю. Ф. Шеин. М.: Стройиздат, 1980. 148 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПАЯНЫХ ИЗДЕЛИЙ

На процессы формирования паяного соединения оказывают влияние различные факторы, вызывающие изменение его структуры и свойств. Основными из них являются: природа взаимодействующих материалов, количество жидкой фазы, флюсующая среда, способ нагрева, режим пайки, давление, воздействие электрических и магнитных полей и др.

Наибольшее влияние на прочность паяных соединений оказывают свойства паяемого материала и припоя. Оценку влияния расплава припоя на паяемый материал производят по ГОСТ 20487—75. Методы испытаний при повышенных температурах регламентирует ГОСТ 9651—84.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Микроструктурный анализ позволяет выявить структуру металла, взаимное расположение структурных составляющих, распределение интерметаллидных фаз, наличие разного рода дефектов, неметаллических включений и др. [1].

Для микроисследования паяного соединения берется образец высотой 10—20 мм и площадью поверхности исследования до 3 см². Вырезать образцы из паяного соединения допускается только металлорежущим инструментом, не вызывающим деформирования зоны шва и изменения структуры в результате нагрева. Вырезанный из паяного соединения образец монтируют в специальные зажимы. При исследовании образцов малых размеров их обычно помещают в формы (кольца) и заливают серой или легкоплавкими сплавами. Такое закрепление микрошлифа нежелательно, поскольку материал заливки искажает результаты исследования, а также загрязняет полировальные круги. Более целесообразно заливать образцы пластмассой. При допустимости нагрева образца применяют бакелит или термопластические пены. Можно использовать жидкие эпоксидные смолы ЭД-5 или ЭД-6 в сочетании с отвердителем (примерно 25%), которые позволяют заливать образец при 20 °С и повышенной температуре. Условия отверждения эпоксидных смол приведены в табл. 1.

Образец, предназначенный для заливки, помещают в форму, засыпают порошком бакелита и нагревают под давлением.

1. Условия отверждения смол ЭД-5 и ЭД-6

Отвердитель	Условия отверждения	
	Температура, °С	Время, ч
40АГ или 40АФ А40	20	24
	20	72
	100—150	8
ПЭПА (полиэтил- ленполиамин)	20	1

2. Микрошлифпорошки и тонкие микрошлифпорошки. Размеры в мкм

Зерни- стость	Размер зерен основной фракции	Зерни- стость	Размер зерен основной фракции
M63	63—50	M20	20—14
M50	50—40	M14	14—10
M40	40—28	M10	10—7
M28	28—20	M7	7—5
		M5	5—3

При использовании эпоксидных смол их в смеси с отвердителем заливают в форму, куда помещен образец. Отверждение происходит без приложения давления.

Для приготовления микрошлифов применяют бумагу на водонепроницаемой основе с указанием зернистости, определяемой в микрометрах. Классификация размеров зерен абразивных материалов в соответствии с ГОСТ 3647—80 приведена в табл. 2.

При приготовлении микрошлифов основное внимание должно быть обращено на получение ровной поверхности, без рельефа между основным металлом и зоной шва.

При каждом переходе направление шлифования меняется на 90°. Частота вращения горизонтальных кругов при приготовлении микрошлифов паяных соединений сталей и медных сплавов должна быть 800—1200 об/мин, алюминиевых и магниевых сплавов 600—800 об/мин. На одних и тех же кругах нельзя обрабатывать образцы из различных материалов, качество шлифов при этом снижается.

Полирование микрошлифов паяных соединений можно производить электрохимическим способом. Абразивный материал при полировании (окись алюминия или хрома) подают в виде водной суспензии (5—15 г абразива на 1 л воды), полученной после отстоя более крупных фракций.

Различие в твердости зон паяного соединения при обычном механическом полировании приводит к рельефности поверхности.

Алмазное полирование обеспечивает получение достаточно ровной поверхности шлифа и повышает производительность процесса в 2—3 раза. В табл. 3 приведена классификация составов паст на алмазной основе в соответствии с ГОСТ 25593—83Е.

Выявить микроструктуру паяного соединения можно химическим или электролитическим травлением с использованием фазового контраста, а также методом теплового травления.

3. Классификация составов паст на алмазной основе

Зернистость алмазного порошка	Массовая доля алмазов в пасте, %			Цвет пасты и этикетки
	нормальная	повышенная	высокая	
60/40 40/28	8	20	40	Красный
28/20 20/14 14/10	6	15	30	Голубой
10/7 7/5 5/3	4	10	20	Зеленый
3/2 2/1 1/0	2	5	10	Желтый

Для исследования микроструктуры обычно используют световые микроскопы МИМ-7 и МИМ-8. Разрешающая способность оптического светового микроскопа с применением масляного иммерсионного объектива соответствует практически 1 мкм.

Подготовленный микрошлиф вначале изучается в нетравленном состоянии при различном увеличении. Это дает возможность выявить такие дефекты, как непропаи, раковины, поры, трещины, неметаллические включения. Возможно частичное выявление микроструктуры, особенно при наличии значительной разности электрохимических потенциалов паяемого металла и припоя.

Неметаллические включения обладают меньшей отражающей способностью, чем металлы, поэтому в поле зрения микроскопа они выявляются в виде темных пятен. Чтобы отличить их от пор, которые также выявляются в виде темных пятен, слегка изменяют фокусное расстояние, поворачивая микрометрический винт микроскопа. При этом края микропор то сходятся, то расходятся, чего не происходит при рассмотрении неметаллических включений.

Химическое травление позволяет выявить общую структуру шва, производить селективное определение фаз с учетом колебания их состава, кристаллографической ориентировки, выявлять ликвацию элементов в сплаве, дислокацию структур, проводить цветовое разделение фаз и др.

Для изучения структуры паяемого металла, отдельных зон шва или отдельных фаз последовательно применяют несколько травителей. В табл. 4 приведены составы реактивов и способы

4. Составы реактивов и способы химического травления паяных соединений

Паяемый материал	Припой, покрытие	Состав реактива	Способ травления	Преимущественное выявление структурных составляющих
Магнневый сплав МА8	Mg—Al—Zn—Mn Покрытие — Ag, Ni; Cu	2% HNO ₃ , 98 % этилового спирта	Погружение на 5—10 с, промывка в спирте Погружение на 3—5 с, промывка в спирте	Паяемого металла и шва
Алюминий	Al—Si; Al—Si—Cu Покрытие — Ni	Объемные части: 2 HF, 1 HNO ₃	Погружение на 10 с, про- мывка водой, сушка спир- том	
		HNO ₃ концентрированная	Погружение до 20 мин	Покрyтия
Алюминиевый сплав Д16	Zn—Al—Cu—Co	Объемные части: 2 HF, 1 HNO ₃	Погружение на 5—10 с	Паяемого металла и шва
Титан	Диффузионное сращивание	Объемные части: 2 HF, 1 HNO ₃	Погружение до 10 с, про- мывка водой, сушка спир- том	Соединения
	Ti—Cu; Ti—Ag; Ti—Ni	Объемные части: 1 HF, 1 HNO ₃ , 1—10 глицерина	Погружение на 5—10 с	Паяемого металла и шва
Медь	Ag—Cu	Насыщенный раствор пер- сульфата аммония в воде		
	Cu—Au	5 мл HNO ₃ , 15 мл уксу- сной кислоты, 25 мл глице- рина	Погружение при 100 °С	Шва

Сталь низкоуглеродистая	Cu или Cu—Zn; Sn—Pb	1) 4%-ный раствор HNO_3 в спирте; 2) концентрированный раствор аммиака	Погружение на 5 с	Паяемого металла припоя
		1) 4%-ный раствор HNO_3 в спирте 2) 1% HNO_3 ; 1% CH_3COOH , 98% глицерина	Погружение на 5 с	Припоя и промежуточных фаз
Сталь 08X18H10T + бронза БрХ1	ПМ17 или ПМ17А	1) 15 мл H_2SO_4 , 85 мл HNO_3	Погружение на 1—2 с	Паяемого металла и шва
		2) HCl (плотность 1,19 г/см ³) + перекись водорода (30%-ная) — 0,5 мл	Погружение на 5 с	
		3) объемные части: 1 аммиака (25%-ного), 1 перекиси водорода (3%-ной)	Погружение на 5 с, промывка водой и спиртом	Бронзы и шва
Сталь 08X18H10T	ПМ17 или ПМ17А	20 г хлорной меди, 80 мл аммиака (раствор применять свежеприготовленным)	После травления протирка тампоном, смоченным 50%-ным раствором HNO_3 в теплой воде	Шва
Сталь 11X11H2B2MФ	ПЖК-35	5 г FeCl_3 , 15 мл HCl (плотность 1,19 г/см ³), 50 мл H_2O	Погружение на 30 с, после травления осветление раствором хромпика	Паяемого металла и шва

Паяемый материал	Припой, покрытие	Состав реактива	Способ травления	Преимущественное выявление структурных составляющих
Сталь ХН62ВМКЮ	ПЖК-1000	40 мг HNO_3 , 40 мл уксусной кислоты, 10 мл реактива «Марбле», 10 мл HCl	Погружение на 1 мин в реактив, нагретый до 90°C	Шва
Коррозионно-стойкие стали + медные сплавы	Покрытие — Мп	2 г K_2CrO_4 , 8 мл H_2SO_4 , 2 мл HCl	Погружение, протирка в течение 30 с	Шва и медного сплава
Керамика + сталь 08Х18Н10Т	50% Ti, 50% Cu	10 мл реактива «Марбле», 20 мл HCl , 4 г CuSO_4 , 20 мл H_2O	Погружение	Стали и шва
Керамика, металлизированная хромом или Мо—Мп + сплав 29 НК	ПМ17	50% HNO_3 , 50% уксусной кислоты	Погружение	Покрyтия, шва

химического травления для выявления микроструктуры паяных соединений.

Для выявления микроструктуры при наличии близких электрохимических потенциалов припоя и паяемого металла применяют электролитическое травление.

Тепловое травление целесообразно в тех случаях, когда химическое травление дает однотонную структуру шва.

Использование электронных микроскопов при исследовании паяных соединений позволяет повысить разрешающую способность до 1 нм. В настоящее время применяют электронные микроскопы просвечивающего типа (ЭМ5, УЭМВ-100А, ЭМ-14, ММВ-100БА, УЭМВ-100К и др.), которые позволяют исследовать микроструктуру на пленках. Такие пленки можно получать, изготавливая тонкие срезы массивных образцов с их последующим электрополированием или химическим травлением (метод фольг), образованием оксидных пленок либо снятием реплик. Для исследования паяных соединений целесообразно использовать реплики. Последние получают нанесением на исследуемую поверхность тончайших слоев различных веществ (коллодия, углерода и др.). Разрешающая способность передачи рельефа определяется используемым для реплик веществом: лаковые пленки дают возможность иметь разрешающую способность 20—50 нм, а платиноуглеродные до 1—2 нм.

Метод исследований с помощью ионного микроскопа позволяет обеспечить более высокую разрешающую способность (< 1 нм).

Рентгеноструктурный анализ дает возможность определить тип структуры шва и параметры решетки, размеры кристаллов, их ориентировку, наличие микродефектов и неметаллических включений [2, 3].

Для локального рентгеноструктурного анализа применяют установки с острофокусной рентгеновской трубкой. Разрешающая способность при этом повышается до 40—50 мкм.

Микрорентгеноспектральный анализ позволяет изучать химическую микронеоднородность материалов, ориентировку монокристаллов и параметры решетки с точностью до 0,0002 нм. Чувствительность метода до 10^{-11} г.

Выпускаемые серийно приборы MAP-1 и MAP-2 (СССР), MS-46 (Франция), JXA-3 (Япония) и другие имеют минимальный размер зонда около 0,1 мкм. С помощью рентгеноспектрального анализа можно анализировать состав, начиная с магния, а на некоторых установках — с бериллия. Разрешающая способность метода: при количественном анализе — 2 мкм, при качественном — десятые доли микромиллиметра.

Метод микротвердости позволяет идентифицировать отдельные фазы и структурные составляющие сплавов. В практике проведения исследований получили распространение приборы

ПМТ-2 и ПМТ-3, МПВ-1 (в единицах по Виккерсу), ПМТ-5 (с автоматическим нагружением).

Применительно к паяным соединениям этот метод исследований дает возможность оценить свойства тонких прослоек и мельчайших образований, часто определяющих механические характеристики соединений [4].

В практике исследований микротвердости применяют прибор ПМТ-3 как наиболее совершенный. Микротвердость определяют путем вдавливания индентора под нагрузкой 0,02—2 Н. В качестве индентора используют алмазную пирамиду с квадратным основанием и углом при вершине между противоположными гранями, равным 136° . Измерения окулярным микрометром на приборе ПМТ-3 можно вести с точностью до 0,15 мкм.

Для исследования микротвердости при повышенных температурах анализируемые образцы нагревают. Алмазная пирамида, если она зачеканена в стальной оправке, а не залита легкоплавким сплавом, допускает нагрев до 750°C .

Прибор ПМТ-3 может быть применен для определения микротвердости при минусовых температурах. В качестве охлаждающей среды используют охлаждающую жидкость в сочетании с жидким азотом. Этот метод дает возможность измерять микротвердость и при нагреве; интервал измерений от -200 до $+200^\circ\text{C}$.

Использование прибора ПМТ-2 или ПМТ-3 ограничено минимальным размером отпечатка (около 5 мкм). Для повышения разрешающей способности вместо оптического можно использовать электронный микроскоп. При этом применяют четырехгранную пирамиду с квадратным основанием и углом при вершине между противоположными гранями 136° или трехгранную правильную пирамиду с углом при вершине между ребром и высотой 65° . С исследуемой поверхности делают реплику, а с реплики, оттененной хромом, — снимки на электронном микроскопе, по которым определяют размеры отпечатков.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Способы контроля качества паяных изделий. Контроль паяных изделий должен осуществляться на стадии разработки технической документации, при производстве изделий и при выпуске готовой продукции.

Для оценки качества паяных изделий применяется контроль без разрушения и с разрушением.

Технический осмотр изделия невооруженным глазом или с применением лупы в сочетании с измерениями позволяет проверить качество поверхности, заполнение зазоров припоем, полноту галтелей, наличие трещин и других наружных дефектов. В соответствии с требованиями технических условий паяные изделия подвергают другим методам контроля.

Радиационный контроль. Область применения методов радиационной дефектоскопии определяется ГОСТ 20426—82 [5].

Радиографический контроль применяют для определения внутренних дефектов в ответственных паяных изделиях, трещин в шве или паяемом металле, локального отсутствия припоя, наличия пор и инородных включений (табл. 5—7).

Радиоскопический метод позволяет наблюдать изображение контролируемого участка одновременно с просвечиванием. Целеобразная область применения радиоскопического метода приведена в табл. 8. Применяют радиоскопические установки ПТУ-38, ПТУ-39, МТР-1, МТР-2, РИ-10Т, РАП-150-7, РАП-160 и др.

Радиометрический метод позволяет производить автоматическую обработку результатов контроля. Разрешающая способность радиометрического метода приведена в табл. 9.

Ксерорадиографический метод. Для повышения производительности контроля и в целях экономии серебра создан метод получения изображения на фотополупроводниковых слоях из аморфного селена. Способ получения изображений на поверхности, электрические свойства которой изменяются под действием рентгеновского и γ -излучения, называется ксерорадиографией, или электрорадиографией. Технология просвечивания паяных соединений этим методом аналогична технологии радиографического контроля. Этим методом возможен контроль швов только на плоской поверхности изделий.

Радиационный контроль нашел применение в производстве печатного монтажа. Плата подключается к источнику питания и работает в предусмотренном для нее режиме. Регистрация дефектов осуществляется по изменению теплового поля.

Акустический контроль. К акустическому относится контроль ультразвуком, основанный на способности ультразвуковых колебаний отражаться от поверхности внутренних неоднородностей материала. Этим методом выявляют трещины, поры, раковины, шлаковые включения, незаполнение шва припоем.

Разработан прибор для ультразвукового контроля косостыковых паяных соединений по двум схемам: зеркально-теневого — для контроля поверхности разделки, и эхо-импульсный — для контроля углов разделки. Контроль ведется наклонным искателем с углом призмы $\beta = 50^\circ$ дефектоскопами УДМ-1М, УДМ-3, ДУК-66, портативным транзисторным ДУК-66П, специализированными ДУК-11ИМ, ДУК-13ИМ и др.

Дефекты паяных соединений в двух и трехслойных конструкциях выявляются акустико-топографическим методом. Он эффективен для контроля дефектов, залегающих на глубине не более 3—5 мм. Преимущество метода — высокая производительность, наглядность результатов, возможность контроля большого ассортимента слоистых материалов.

5. Разрешающая способность радиографического метода контроля при использовании рентгеновских аппаратов

Толщина просвечиваемого металла, мм				Напряжение на рентгеновской трубке, кВ, не более
Железо	Титан	Алюминий	Магний	
0,4	1	5	14	40
0,7	2	12	22	50
1	3	20	35	60
2	6	38	57	80
5	10	54	80	100
7	18	59	105	120
10	24	67	120	150
21	47	100	160	200
27	57	112	200	250
33	72	132	240	300
46	106	210	310	400
150	265	430	650	1000

6. Разрешающая способность радиографического метода контроля при использовании гамма-дефектоскопов

Толщина просвечиваемого металла, мм				Закрытые источники излучения
Железо	Титан	Алюминий	Магний	
1—20	2—40	3—70	10—200	^{170}Tm
5—80	10—120	40—350	70—450	^{192}Ir
10—120	20—150	50—350	100—500	^{137}Cs
30—200	60—300	200—500	300—700	^{60}Co

7. Разрешающая способность радиографического метода контроля при использовании бетатронов

Толщина просвечиваемого металла, мм				Энергия ускоренных электронов, МэВ
Железо	Алюминий	Титан	Свинец	
50—100	150—310	90—190	30—60	6
70—180	220—570	130—350	40—110	9
100—220	330—740	190—430	50—110	18
130—250	180—920	250—490	60—120	25
150—350	570—1300	290—680	60—150	30
150—450	610—1800	290—880	60—180	35

8. Область применения радиоскопического метода

Контролируемый металл	Толщина, мм	Энергия ускоренных электронов, кэВ	Преобразователь излучения	
			Контроль паяным и клеевым соединением	Контроль паяным и клеевым соединением, а также отливом и слитков
Алюминий	1—15	10—120	Рентгеновский электронно-оптический преобразователь (РЭОП), рентгенотелевизионная установка с рентгеновидиком	РЭОП, рентгенотелевизионная установка с рентгеновидиком, флуороскопический экран
	15—50	50—200	Рентгенотелевизионная установка с РЭОП или рентгеновидиком	Рентгенотелевизионная установка с РЭОП или с рентгеновидиком, или с флуороскопическим экраном
Железо	1—6	50—180	РЭОП, рентгенотелевизионная установка с рентгеновидиком	Рентгенотелевизионная установка с РЭОП или скintилляционным монокристаллом
	4—20	180—250	Рентгенотелевизионная установка с РЭОП или скintилляционным монокристаллом	

9. Разрешающая способность радиометрического метода

Толщина металла, мм			Источники излучения
Железо	Титан	Алюминий	
1—150	2—300	5—500	Рентгеновские установки с напряжением 400—1000 кВ Радиоизотопные источники ^{170}Tm , ^{192}Ir , ^{137}Cs , ^{60}Co Ускорители на энергию 6—35 МэВ
1—200	2—400	5—1000	
50—500	90—980	150—200	

Магнитный контроль. Контроль намагничиванием изделий из ферромагнитных материалов основан на резком изменении параметров магнитного поля в дефектных местах (трещины, непропаи, раковины, поры).

Магнитопорошковый метод основан на образовании в местах дефектов при намагничивании потоков рассеяния. Магнитопорош-

ковым методом выявляются дефекты с раскрытием 1—2,5 мкм, глубиной 25 мкм, длиной до 2,5 мм.

Магнитный порошок наносится сухим и мокрым способами. В качестве магнитного порошка используют окалину железа (магнетит), измельченную до состояния пудры. При мокром методе порошок наносится в виде суспензии (вода, масло, керосин). Перед нанесением суспензии контролируемое изделие должно быть обезжирено.

Контроль методом намагничивания осуществляется дефектоскопами: переносными (ПМД-70, 77ПМД-3М), передвижным (МД50П), универсальными (УМДЭ-10 000, УМДЭ-2500), магнитографическим (МД-20Т) и др.

После контроля паяные изделия размагничиваются в переменном магнитном поле.

Магнитографический метод обеспечивает запись на магнитную ленту магнитных полей рассеяния. Информация о результатах контроля считывается с помощью магнитографического дефектоскопа: возникающий на экране электрический сигнал пропорционален величине остаточного магнитного потока полей рассеяния дефектов, записанных на ленте.

Намагничивание контролируемого изделия производится также возбуждением вихревых токов с помощью переменного электромагнитного поля. Контроль осуществляется измерением воздействия поля вихревых токов на возбуждающий преобразователь. Разработано несколько методов электромагнитного контроля: фазовый, амплитудно-фазовый, амплитудно-частотный, многочастотный и их сочетания. Наибольшее применение нашли амплитудно-фазовый и амплитудно-частотный методы. Промышленностью серийно выпускают электромагнитные дефектоскопы марок ДНМ-15, ДНМ-500, ДНМ-2000 и др.

Капиллярные методы контроля основаны на проникновении в дефекты контролируемого изделия специальных индикаторных пенетрантов, имеющих цветовой тон или люминесцирующих при воздействии ультрафиолетового излучения. Этот метод применяется для обнаружения трещин, непропаев, пор и других дефектов. Последовательность операций контроля капиллярным методом: нанесение пенетранта и удаление его (протиркой салфетками, промывкой водой, специальными составами и др.) после выдержки, необходимой для затенения дефектов; покрытие мест контроля мелкодисперсным порошком или специальными красками, которые проявляют оставшийся в дефектных местах пенетрант. Образующийся след на месте дефекта можно наблюдать невооруженным глазом.

Различают четыре основных метода капиллярной дефектоскопии: люминесцентный, люминесцентно-цветной, люминесцентно-гидравлический и смачивание керосином.

Люминесцентный метод контроля отличается повышенной контрастностью пенетранта в результате введения в него люминесцирующих в ультрафиолетовом свете веществ.

В качестве индикаторного пенетранта при люминесцентном методе контроля нашел применение керосин. Фосфоресцирующим компонентом в керосине является норпол, дающий яркое желто-зеленое свечение. В качестве индикаторных пенетрантов можно применять люминесцентные жидкости типа ЛЖ. После проведения контроля эти жидкости удаляются водой. Последующая сушка ведется с помощью опилок.

Химический метод основан на химическом воздействии аммиака NH_3 на фенолфталеин или азотнокислую ртуть, изменяющих свою окраску под действием аммиака. В качестве контрольного газа при этом методе применяют 1%-ную смесь аммиака с воздухом или 3%-ную смесь аммиака с азотом. Индикаторную ленту приготавливают непосредственно перед контролем, пропитывая фенолфталеином или азотнокислой ртутью фильтровальную бумагу или белую ткань. Избыточное давление газа в процессе контроля берется 0,1—0,15 МПа.

Манометрический метод основан на регистрации изменения испытательного давления контрольного или пробного вещества, которым заполняется контролируемое изделие.

Галогенный метод основан на изменении эмиссии ионов нагретой металлической поверхностью при попадании на нее пробного вещества, содержащего галогены. Метод отличается высокой чувствительностью и применяется для контроля герметичности ответственных паяных изделий. Технические характеристики отечественных течеискателей приведены в табл. 10.

Масс-спектрометрический метод контроля основан на принципе разделения по массам ионов газов, проходящих через неплотности контролируемого изделия с помощью масс-спектрометров. Этот метод отличается высокой чувствительностью и применяется для контроля герметичности ответственных изделий. В качестве пробного газа используют водород, гелий, аргон и другие газы (наибольшее применение нашел гелий). В качестве контрольных газов применяют чистый гелий, смеси его с воздухом или азотом при концентрации гелия 10—90 %. Для контроля герметичности нашли распространение гелиевые течеискатели со встроенным в них масс-спектрометром.

При контроле герметичности течеискателем необходимо создать такое заполнение изделия контрольным газом, при котором обеспечивается равномерная концентрация гелия во всем объеме изделия. Избыточное давление контрольного газа устанавливается в соответствии с техническими условиями. Проверку герметичности проводят путем перемещения щупа гелиевого течеискателя по контролируемой поверхности.

10. Технические характеристики галогенных теченскателей

Теченскатель	Тип	Чувствительность	Габаритные размеры, масса	Назначение
Галогенный	ГТИ-3А	К утечкам фреона-12 не менее 0,5 г/год (соответствует потоку $3,2 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^3 \cdot \text{МПа/с}$)	Измерительный блок $315 \times 230 \times 210 \text{ мм}$, масса 10 кг. Масса выносного щупа 2 кг	Для атмосферных испытаний
	ГТИ-6	С двумя датчиками: вакуумным датчиком к парциальному давлению фреона-12 или фреона-22 $1,32 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$ (соответствует потоку $1,33 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3 \cdot \text{МПа/с}$ при скорости откачки 1 л/с); с атмосферным датчиком к утечкам фреона-12 или фреона-22 в атмосферу 0,2 г/год (соответствует потоку $1,33 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^3 \cdot \text{МПа/с}$)	Регистрирующий блок $350 \times 160 \times 200 \text{ мм}$, масса 10 кг. Масса вакуумного датчика 1,2 кг, атмосферного датчика с кабелем — 1,3 кг	Для атмосферных и вакуумных испытаний
Батарейный галогенный	БГТИ-5	К утечкам фреона-12 или фреона-22 — не менее 1,5 г/год (соответствует потоку $9,3 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^3 \cdot \text{МПа/с}$)	Измерительный блок $286 \times 136 \times 276 \text{ мм}$, масса 8,5 кг. Зарядное устройство $280 \times 136 \times 186 \text{ мм}$, масса 4 кг. Выносной щуп $175 \times 135 \times 50 \text{ мм}$, масса 0,65 кг	Для атмосферных испытаний

Разрушающие методы контроля. При разрушающих методах контроля паяных изделий испытанию до разрушения подвергают: непосредственно изделие, образцы, вырезанные из взятого от партии изделия, или образцы, вырезанные из «свидетеля», т. е. паявшегося по той же технологии изделия, предназначенного для проведения испытаний. Для выявления механических свойств паяных соединений проводят испытания паяных образцов при различных способах нагружения: растяжении, сжатии, изгибе, кручении и др. Вид и требования разрушающих методов контроля определяются техническими условиями на паяное изделие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакутин В. Н., Заика Е. А., Карпов В. И. Определение дефектов пайки радиационным методом/Дефектоскопия. 1972. № 6. С. 75—80.
2. Биркс Л. С. Рентгеновский микроанализ с помощью электронного зонда. Пер. с англ./Под ред. К. И. Норбутта. М.: Металлургия, 1966. 216 с.
3. Горелик С. С., Расторгуев А. Н., Скаков Ю. А. Рентгенографический и электронно-графический анализ металлов. М.: Металлургиздат, 1963. 256 с.
4. Глазов В. М., Вигдорович В. И. Микротвердость металлов и полупроводников. М.: Металлургия, 1969. 247 с.

ОХРАНА ТРУДА И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ

ОПАСНЫЕ И ВРЕДНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ

При производстве паяльных работ на работающих могут воздействовать вредные и опасные факторы, к которым относятся: повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучение источника нагрева и нагретой детали; электромагнитные поля, ионизирующие излучения, шум, ультразвук.

При пайке, напылении, выплавке припоев в окружающий воздух могут поступать аэрозоли, содержащие в составе твердой фазы оксиды различных металлов (марганца, хрома, никеля, меди, титана, алюминия, железа) и другие соединения, а также токсичные газы (оксид углерода, озон, фтористые, хлористые, бромистые соединения, оксиды азота и др.).

В составе аэрозолей могут быть составляющие флюсов и припоев, содержащих свинец, кадмий, цинк, олово, углеводороды.

Количество аэрозолей, их токсичность зависят от химического состава вредных веществ, совершенства технологического процесса, степени механизации производства. Воздействие на организм выделяющихся вредных веществ может явиться причиной заболеваний и отравлений.

При отсутствии защиты от источников тепла возможны ожоги кожи. Отрицательное воздействие на здоровье человека может оказать инфракрасное излучение нагретых деталей, нагревательных устройств (нарушение терморегуляции, тепловые удары).

При пайке с высокочастотным нагревом оператор подвергается воздействию электромагнитных полей. При работе электронно-лучевых установок, проведении гамма- и рентгеновского просвечивания возможно воздействие на работающего ионизирующего излучения.

Источниками повышенного шума являются пневмоприводы, генераторы, рабочие части вакуумных и других установок.

К опасным производственным факторам относятся воздействие электрического тока, брызг, выбросы расплавленного металла и флюса; сжатые газы; движущиеся механизмы и изделия.

Неправильная эксплуатация электрооборудования может привести к поражению электрическим током. Применение открытого газового пламени, наличие брызг и выбросов расплавленного металла и флюса, применение термитных смесей создают не только возможность ожогов, но и повышают опасность возникновения пожара. Опасность возникает также при использовании горючих

1. Характеристика паяльных работ по опасным и вредным производственным факторам

Вид работы	Интенсивность вредного вещества	Вредные факторы							Опасные факторы					
		Излучение в оптическом диапазоне			Электромагнитные поля	Магнитные поля	Ионизирующее излучение	Шум	Ультразвук	Электрический ток	Искры, брызги и выбросы расплавленного металла и флюса	Движущиеся механизмы и изделия	Системы, находящиеся под давлением	
		ультрафиолетовое	видимое	инфракрасное										
Выплавка припоев	**	*	*	*							**	**		
Выплавка флюсов	**	*	*	*							**	**		
Газопламенная пайка	*		*	*					*		*	*	*	*
Ультразвуковая пайка	*								*	*	*		*	
Индукционная пайка	*		*	*	*	*					*	*	*	
Лазерная пайка	*	*	*	*	*	*			*		*	*	*	*
Электронно-лучевая пайка	*	*	*	*				*	*		*	*	*	*
Напыление	**	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*
Экзотермическая пайка	*		*	*	*	*						*		
Плазменная пайка	**	*	*	*	*	*		*	*	*	**	**	*	**

Примечание. ** — интенсивный фактор; * — умеренный фактор; (—) — незначительный или отсутствующий фактор.

газов и кислорода, а также эксплуатации сосудов, работающих под давлением [1, 2].

Характеристика процессов пайки и напыления по вредным и опасным факторам приведена в табл. 1.

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ

По степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяют на четыре класса: 1 — вещества чрезвычайно опасные; 2 — вещества высокоопасные; 3 — умеренно опасные и 4 — малоопасные. Агрегатные состояния веществ в условиях производства могут быть в виде паров или газов (П), аэрозолей (А) и смеси паров и аэрозолей (П + А).

Превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных газов, пыли и других аэрозолей в воздухе рабочей зоны производственных помещений не должно допускаться.

ПДК ядовитых газов, паров и пыли в воздухе производственных помещений (ГОСТ 12.1.005—88) приведены в табл. 2.

ТРЕБОВАНИЯ К ПОЖАРО- И ВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТИ И К ВЕНТИЛЯЦИИ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ

Паяльные работы, связанные с применением открытого огня, должны проводиться в соответствии со СНиП 2-01.02—85, ГОСТ 12.01.044—84 и с «Типовыми правилами пожарной безопасности для промышленных предприятий».

Для снижения концентрации вредных веществ на рабочих местах паяльщики до ПДК необходимо применять местные отсосы.

Расход воздуха, удаляемого отсосами, определяют по формуле

$$L = 3600 F_0 v_0,$$

где F_0 — площадь всасывающего отверстия отсоса, m^2 ; v_0 — скорость воздуха в этом отверстии, m/c .

При ручной газопламенной пайке скорость движения воздуха должна быть не более 0,5 m/c .

Воздухоприемники должны быть максимально приближены к источнику вредных выделений, поскольку скорость движения воздуха при удалении от всасывающего отверстия падает обратно пропорционально квадрату расстояния.

СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ РАБОТАЮЩИХ

Спецодежда, спецобувь, средства индивидуальной защиты органов дыхания, глаз и головы должны выдаваться работающим в соответствии с типовыми отраслевыми нормами.

2. Характеристика вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Вещество	ПДК, мг/м³	Класс опасности	Агрегатное состояние
Оксиды азота (в пересчете на O₂)	5	2	П
Аммиак	20	4	
Ацетон	200		
Бензин (растворитель)	300		
Бериллий и его соединения (в пересчете на Be)	0,001	1	А
Борная кислота	10	3	П+А
Борный ангидрид	5		
Ванадий и его соединения	0,1	1	А
Германий четыреххлористый (в пересчете на Ge)	1		
Дихлорэтан	10	2	П
Оксид кадмия	0,1	1	А
Марганец	0,3	2	
Медь	1		
Молибден, растворимые соединения в виде аэрозоля конденсации	2	3	
Мышьяковый водород	0,3	2	П
Натрий роданистый (технический)	50	4	А
Никель и его оксид, закись, сульфид (в пересчете на Ni)	0,5	2	
Свинец и его неорганические соединения	0,01	1	А
Серная кислота, серный ангидрид	1	2	П
Соляная кислота	5		П+А
Сурьма, фториды, хлориды	0,3		
Фосфор желтый	0,03	1	П
Фосфорный ангидрид	1	1	П
Хлористый водород	5	2	П+А
Хромовый ангидрид, хроматы, бихроматы (в пересчете на Cr)	0,01	1	А
Оксид цинка	6	3	
Щелочи едкие (растворы)	0,5	2	

3. Марки стекла, рекомендуемого для очков при работе на лазерных установках

Длина волны, мкм	Марки стекла	Длина волны, мкм	Марки стекла	Длина волны, мкм	Марки стекла
0,48—0,51	ОС-12 *, ОС-13 ОС-23-1	0,69; 0,84	СЗС-21 СЗС-22	1,54	СЗС-24 СЗС-25 СЗС-26
0,53	ОС-12 ОС-13 ОС-23-21	1,06	СЗС-21 СЗС-22 СЗС-24	10,6	БС-15 **

* Оранжевое. ** Бесцветное.

При выполнении паяльных работ необходимы рабочие халаты (ГОСТ 12.4.132—83), рукавицы (ГОСТ 12.4.010—75), защитные очки (ГОСТ 12.4.013—85) для защиты от действия припоев и флюсов, наушники для защиты от шума при плазменной обработке (ГОСТ 12.4.051—87).

Марки стекол противолазерных очков выбирают по табл. 3.

При выполнении паяльных работ для защиты кожи рук от воздействия sensibilizing веществ, входящих в состав флюсов, необходимо применять защитные мази и пасты типа «Миколан», ИЭР-1, ХИОТ-14, казеиновую пасту и биологические перчатки.

Для выполнения работ по пайке допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие соответствующее обучение по специальности и ознакомленные с правилами безопасности труда по ГОСТ 12.0.004—79 «Организация обучения работающих безопасности труда. Общие положения».

При поступлении на работу, а затем периодически работающие в паяльном производстве должны проходить медицинский осмотр.

Рабочие-паяльщики должны иметь квалификационную группу по технике безопасности не ниже II.

КОНТРОЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Качественная характеристика состояния воздуха в паяльных цехах должна производиться путем отбора проб воздуха в соответствии с ГОСТ 12.1.005—88 и методическими указаниями

№ 1924—78 Минздрава СССР по гигиенической оценке паяльных материалов и пайки.

В целях пожаро- и взрывобезопасности следует проверять концентрацию легковоспламеняющихся и горючих веществ, которая не должна превышать 50% нижнего предела взрываемости.

Измерение интенсивности теплового излучения должно производиться в соответствии с методическими указаниями Минздрава СССР № 1368—75, 1977 г. и РД 50-134—78 (1979 г., изд. Стандартов).

При контроле производственного освещения следует руководствоваться требованиями СНиП II-4—79 с учетом характера и точности зрительной работы.

В случае распространения вибраций на рабочие места, а также при действии локальных вибраций их уровни контролируются в соответствии с ГОСТ 12.1.012—90*.

Уровни лазерного облучения персонала должны проверяться не реже одного раза в год, а также при приемке в эксплуатацию новых лазеров, при организации рабочих мест.

Измерение экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений производится рентгенометром повышенной точности РП-1, микрорентгенометрами МРМ-2, МРМ-3, дозиметрами ДРГЗ-01, ДРГЗ-04, СГД-1 и др. Для индивидуального дозиметрического контроля используют дозиметры типа ИФК-2,3; ИКС-Г; ДК-0,2 и др.

Уровни звукового давления и уровни звука контролируются на рабочих местах в соответствии с ГОСТ 27408—87.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность производственных процессов: Под общ. ред. С. В. Белова. М.: Машиностроение, 1985. 448 с.
2. Микроклимат производственных помещений. Требования к измерительным приборам, проведение измерений. Методические указания № 1368 — 75. М.: Минздрав СССР, 1977. 16 с.

НОРМИРОВАНИЕ ПАЯЛЬНЫХ РАБОТ

Паяльное производство связано с использованием разнообразных, часто дефицитных материалов. Рациональное их потребление невозможно без применения технически и экономически обоснованных норм расхода. Для оценки прогрессивности норм расхода материалов на производство конкретных изделий, уровня технологии и технологичности применяют коэффициент использования материала, являющийся отношением массы детали в целом для производства к соответствующей норме расхода материала на ее изготовление *. При расчете индивидуальных норм расхода материалов применяются как межотраслевые нормативы, так и отраслевые. Для конкретных условий крупносерийного и массового производства должны разрабатываться нормалы, предусматривающие более низкие нормы потерь и отходов материалов.

При разработке норм расхода материалов руководствуются конструкторскими спецификациями на изделие, чертежами деталей и узлов, техническими условиями на изготовление и поставку изделия, картами технологических процессов и техническими инструкциями, ГОСТами, ОСТАми, ТУ и условиями на поставку материалов, прейскурантами оптовых цен, ведомственными и заводскими номенклатурными справочниками и другими инструктивными материалами [1, 2].

В паяльном производстве нормированию расхода материалов, применительно непосредственно к процессам пайки и лужения, подлежат припой, флюсы, восстановительные и защитные газовые среды.

При нормировании расхода припоев для пайки учитываются масса припоя в шве; масса припоя, идущая на образование галтелей и наплывов; масса припоя, расходуемая на угар, и другие безвозвратные потери.

Норму расхода припоя на одну деталь, г, определяют по формуле

$$H_{\text{д}} = Q_{\text{п. д}} \frac{100 + \alpha}{100}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{п. д}}$ — масса припоя, наносимого на одну деталь при сборке под пайку, г; α — угар и безвозвратные потери припоя при пайке, % (табл. 1).

* В заготовительных цехах коэффициент использования материала подсчитывается как отношение массы заготовки к нормам расхода на ее изготовление, в механических цехах — как отношение массы детали к массе заготовки.

1. Угар и безвозвратные потери припоя в зависимости от способа пайки (средние данные)

Способ пайки	Угар и безвозвратные потери, %
В соляных ваннах	0,8—1,0
С нагревом ТВЧ	1,0—1,5
Электроконтактная пайка	1,0—1,5
Газопламенными горелками	3—4
Погружением в расплавленный припой	4,0

2. Значения коэффициента ϕ , учитывающего увеличение расхода припоя за счет наплывов металла, в зависимости от вида соединяемых деталей (средние данные)

Соединяемые пайкой поверхности	ϕ
Плоскость с плоскостью	1,1
Соединение по двум и более плоскостям	1,1—1,2
Соединение по сферической поверхности	1,3
Соединение по двум и более сферическим поверхностям	1,4

В случае выплавки припоя помимо общей нормы расхода припоя определяют нормы расхода его компонентов, г:

$$H_{p.k} = H_k P_{y.k.p} \left(1 + \frac{\beta}{100} \right), \quad (2)$$

где $H_{p.k}$ — норма расхода компонентов, кг; $P_{y.k.p}$ — удельный расход компонента на 1 кг припоя, кг; β — угар и безвозвратные потери данного компонента шихты, %.

Массу необходимого количества припоя на деталь Q , г, рассчитывают по формуле

$$Q = ablv\phi, \quad (3)$$

где a — сборочный зазор, мм; b — ширина шва, мм; l — протяженность шва, мм; v — плотность припоя, г/см³; ϕ — коэффициент, учитывающий увеличение расхода припоя на наплывы (без учета галтелей $\phi = 1,1 \div 1,4$ в зависимости от равномерности сборочных зазоров, способа пайки и вида соединяемых поверхностей). Средние значения коэффициента ϕ приведены в табл. 2.

Зазор под пайку выбирают в соответствии с конструктивными и технологическими требованиями, а также техническими условиями на изготовление детали (изделия).

Нормы расхода припоя приведены в табл. 3—5 [без учета расхода металла на наплывы, галтели, рассчитанного по формуле (3)]. Потери металла (на угар, сплески и др.) учтены в размере 4%, что соответствует пайке газопламенными горелками или погружением в расплавленный припой. При применении более совершенных способов пайки данные соответствующих таблиц должны быть скорректированы с учетом поправочных коэффициентов $k_{пр}$ (для пайки электроконтактной и ТВЧ $k_{пр} = 0,4$; в соляных ваннах $k_{пр} = 0,25$; в восстановительной среде в электропечах угар не учитывается).

3. Нормы расхода припоев на 1 см² шва, г

Ширина шва, мм	Оловянно-свинцовые						Медно-цинковые			Медь	Латунные	
	ПОС 4-6	ПОС 18	ПОС 30	ПОС 40	ПОС 61	ПОС 90	ПМЦ36	ПМЦ48	ПМЦ54		Л63	Л68
0,005	0,0056	0,0053	0,0050	0,0048	0,0043	0,0039	0,0040	0,0042	0,0043	0,0046	0,0044	0,0045
0,010	0,0111	0,0106	0,0101	0,0097	0,0087	0,0078	0,0080	0,0085	0,0086	0,0092	0,0088	0,0089
0,025	0,0278	0,0266	0,0252	0,0242	0,0218	0,0197	0,0200	0,0214	0,0216	0,0237	0,0221	0,0224
0,050	0,0556	0,0532	0,0503	0,0484	0,0444	0,0394	0,0401	0,0427	0,0432	0,0463	0,0442	0,0447
0,100	0,1113	0,1064	0,1007	0,0967	0,0888	0,0788	0,0802	0,0854	0,0864	0,0927	0,0884	0,0894
0,125	0,1391	0,1330	0,1258	0,1210	0,1110	0,0985	0,1002	0,1067	0,1080	0,1158	0,1105	0,1118
0,150	0,1669	0,1596	0,1510	0,1452	0,1332	0,1183	0,1203	0,1281	0,1296	0,1391	0,1326	0,1342
0,175	0,1947	0,1862	0,1762	0,1694	0,1554	0,1380	0,1404	0,1495	0,1513	0,1622	0,1547	0,1565
0,200	0,2226	0,2128	0,2013	0,1934	0,1776	0,1577	0,1604	0,1708	0,1730	0,1854	0,1768	0,1789
0,250	0,2762	0,2660	0,2517	0,2418	0,2220	0,1971	0,2005	0,2135	0,2161	0,2317	0,2210	0,2236
0,300	0,3338	0,3192	0,3020	0,2902	0,2664	0,2365	0,2406	0,2562	0,2594	0,2781	0,2652	0,2683

4. Нормы расхода припоев на пайку 1 см шва проводов внахлестку, г

Сумма диа- метров проводов, мм	Оловянно-свинцовые						Медно-цинковые			Медь	Латунные	
	ПОС 4-6	ПОС 18	ПОС 30	ПОС 40	ПОС 61	ПОС 90	ПМЦ36	ПМЦ48	ПМЦ54		Л63	Л68
0,2	0,0032	0,0029	0,0029	0,0028	0,0025	0,0022	0,0023	0,0024	0,0025	0,0026	0,0025	0,0024
0,4	0,0117	0,0121	0,0118	0,0113	0,0101	0,0097	0,0108	0,0109	0,0110	0,0111	0,0110	0,0109
0,6	0,0229	0,0240	0,0232	0,0224	0,0200	0,0197	0,0219	0,0220	0,0221	0,0222	0,0221	0,0220
0,8	0,0402	0,0429	0,0414	0,0398	0,0357	0,0354	0,0393	0,0394	0,0395	0,0396	0,0395	0,0394
1,0	0,0552	0,0594	0,0567	0,0548	0,0495	0,0492	0,0543	0,0544	0,0545	0,0546	0,0545	0,0544
1,2	0,0771	0,0831	0,0800	0,0767	0,0692	0,0689	0,0762	0,0763	0,0764	0,0765	0,0764	0,0763
1,4	0,1048	0,1133	0,1088	0,1044	0,0943	0,0940	0,1039	0,1040	0,1041	0,1042	0,1041	0,1040
1,6	0,1231	0,1333	0,1280	0,1127	0,1109	0,1106	0,1122	0,1123	0,1124	0,1125	0,1124	0,1123
1,8	0,1499	0,1627	0,1561	0,1495	0,1354	0,1351	0,1490	0,1491	0,1492	0,1493	0,1492	0,1491
2,0	0,1778	0,1926	0,1850	0,1774	0,1602	0,1598	0,1769	0,1770	0,1771	0,1772	0,1771	0,1770

Б. Нормы расхода припоев на пайку проводов встык, г

Диаметр проводов, мм	Оловянно-свинцовые						Медно-цинковые			Медь	Латуные	
	ПОС 4-6	ПОС 18	ПОС 30	ПОС 40	ПОС 61	ПОС 90	ПМЦ36	ПМЦ48	ПМЦ54		Л63	Л68
≤0,5	0,0087	0,0083	0,0079	0,0075	0,0068	0,0060	0,0064	0,0068	0,0069	0,0071	0,0068	0,0069
0,6	0,0099	0,0095	0,0090	0,0086	0,0077	0,0070	0,0073	0,0078	0,0079	0,0081	0,0078	0,0079
0,8	0,0124	0,0120	0,0114	0,0108	0,0097	0,0092	0,0092	0,0098	0,0099	0,0104	0,0099	0,0101
1,0	0,0150	0,0145	0,0137	0,0130	0,0117	0,0112	0,0111	0,0118	0,0120	0,0124	0,0121	0,0120
1,2	0,0178	0,0173	0,0162	0,0155	0,0140	0,0134	0,0132	0,0141	0,0142	0,0146	0,0142	0,0139
1,4	0,0205	0,0199	0,0188	0,0179	0,0161	0,0155	0,0152	0,0162	0,0164	0,0167	0,0163	0,0160
1,6	0,0233	0,0227	0,0212	0,0203	0,0183	0,0177	0,0173	0,0184	0,0186	0,0191	0,0184	0,0182
1,8	0,0260	0,0253	0,0236	0,0226	0,0204	0,0197	0,0192	0,0204	0,0207	0,0205	0,0200	0,0201
2,0	0,0287	0,0280	0,0261	0,0250	0,0225	0,0218	0,0213	0,0227	0,0230	0,0226	0,0225	0,0225
2,2	0,0311	0,0303	0,0283	0,0271	0,0244	0,0237	0,0230	0,0245	0,0248	0,0246	0,0244	0,0242
2,4	0,0338	0,0330	0,0305	0,0294	0,0265	0,0258	0,0250	0,0266	0,0269	0,0266	0,0264	0,0261
2,6	0,0359	0,0351	0,0327	0,0313	0,0282	0,0275	0,0266	0,0283	0,0287	0,0285	0,0284	0,0282
2,8	0,0381	0,0372	0,0345	0,0331	0,0300	0,0292	0,0282	0,0300	0,0304	0,0305	0,0305	0,0303
3,0	0,0402	0,0393	0,0365	0,0350	0,0315	0,0309	0,0298	0,0317	0,0321	0,0324	0,0323	0,0323

6. Нормы расхода припоя на 1 см, галтели, г

3. Нормы расхода припоев на 1 см, галтели, γ													
Толщина стенок детали, на которой образуется мениск, мм	Размер галтели (катет равнобедренного треугольника), мм	Оловянно-свинцовые						Медно-цинковые			Латунные		
		ПОС 4-6	ПОС 12	ПОС 30	ПОС 40	ПОС 61	ПОС 90	ПМЦ 36	ПМЦ 48	ПМЦ 64	Медь	Л63	Л68
≤ 0,2	0,2	0,0022	0,0021	0,0020	0,0019	0,0017	0,0016	0,0016	0,0016	0,0017	0,0017	0,0018	0,0018
0,4	0,4	0,0089	0,0085	0,0080	0,0077	0,0070	0,0063	0,0064	0,0068	0,0069	0,0074	0,0071	0,0072
0,6	0,6	0,0200	0,0191	0,0181	0,0174	0,0157	0,0142	0,0144	0,0153	0,0155	0,0166	0,0159	0,0161
0,8	0,7	0,0275	0,0261	0,0242	0,0232	0,0210	0,0193	0,0196	0,0209	0,0212	0,0227	0,0217	0,0219
1,0	0,8	0,0356	0,0340	0,0323	0,0310	0,0280	0,0252	0,0256	0,0273	0,0277	0,0296	0,0283	0,0286
1,2	1,0	0,0557	0,0532	0,0503	0,0484	0,0437	0,0394	0,0401	0,0427	0,0432	0,0463	0,0442	0,0447
1,4	1,2	0,0802	0,0766	0,0725	0,0696	0,0630	0,0567	0,0577	0,0615	0,0622	0,0667	0,0636	0,0644
1,5	1,25	0,0869	0,0831	0,0786	0,0755	0,0682	0,0615	0,0625	0,0666	0,0674	0,0723	0,0691	0,0699
и более													

Норму расхода припоя при соединениях внахлестку H_p рассчитывают по формуле

$$H_p = H_{p.ш} + H_{p.г},$$

где $H_{p.ш}$ и $H_{p.г}$ — соответственно нормы расхода припоя на образование шва и на образование галтели, г:

$$H_p = FP_{у.п.с},$$

где F — площадь шва, определяемая по чертежу, см^2 ; $P_{у.п.с}$ — расход припоя, г/см^2 (определяется по табл. 3).

Норма расхода припоя на образование галтелей, г:

$$H_{p.г} = l'P'_{у.п.г}, \quad (4)$$

где l' — протяженность шва, по периметру которого образуется галтель, см; $P'_{у.п.г}$ — расход припоя на галтель, г/см (определяется по табл. 6).

Норма расхода припоя на пайку проводов внахлестку, г:

$$H_p = l''P_{у.п.п}, \quad (5)$$

где l'' — протяженность шва, определяемая по чертежу, см; $P_{у.п.п}$ — расход припоя на пайку проводов, г/см (определяется по табл. 4).

Норма расхода припоя на пайку проводов встык определяется по табл. 5.

Для припайки проводников, кабельных наконечников, лепестков нормы расхода припоя, г:

$$H_p = \sum n_n P'_{у.п.н} \quad (6)$$

где $\sum n_n$ — число мест пайки данного типоразмера; $P'_{у.п}$ — расход припоя на одно место пайки, г (определяется опытным путем).

В табл. 7 приведены нормы расхода материалов на пайку и облуживание кабеля и кабельных наконечников.

При лужении норму расхода припоя, г, определяют по формуле

$$H_p = Q'_{п.л} \frac{100 + \alpha}{100}, \quad (7)$$

где $Q'_{п.л}$ — масса припоя, оставшегося на детали после лужения, г; α — угар и безвозвратные потери припоя при лужении, %.

При горячем лужении потери на угар металла в ванне (при возврате сплесков) и механические потери составляют: для пластинчатых и цилиндрических без резьбы и отверстий деталей до 4%; для рельефных и цилиндрических с резьбой — до 7%; сложной конфигурации с глухими отверстиями и полостями — до 10%.

Масса припоя

$$Q'_{п.л} = FP'_{у.п}, \quad (8)$$

где F — площадь, подвергаемая обработке, см²; $P'_{у.п}$ — расход припоя, г/см².

В табл. 8 приведены нормы расхода материалов при пайке и лужении горячим способом элементов электрорадиоаппаратуры.

7. Нормы расхода материалов на пайку и облуживание кабеля и кабельных наконечников

Сечение жилы кабеля, мм ²	Расход на одну пайку и одно облуживание				Расход на напайку одного наконечника			
	припоя ПОС 40, г	бескислотного флюса		флюса ЛТИ, г	припоя ПОС 40, г	бескислотного флюса		флюса ЛТИ, г
		кани-фоли, г	спирта, мл			кани-фоли, г	спирта, мл	
1,0	0,13	0,06	0,05	0,03	0,2	0,1	0,09	0,05
1,5	0,14	0,06	0,05	0,03	0,3	0,12	0,11	0,06
2,5	0,15	0,08	0,07	0,04	0,4	0,14	0,13	0,07
4	0,16	0,1	0,09	0,05	0,48	0,16	0,14	0,08
6	0,19	0,12	0,11	0,06	0,7	0,2	0,18	0,1
10	0,25	0,14	0,13	0,07	2,9	0,3	0,27	0,15
25	0,55	0,18	0,16	0,09	5,2	0,66	0,6	0,33
50	1,5	0,22	0,20	0,11	6,5	0,82	0,74	0,41
95	3,25	0,3	0,27	0,15	9,4	1,2	1,08	0,6
150	5,4	0,4	0,36	0,2	16	1,42	1,28	0,71
240	8,8	0,66	0,6	0,33	26	1,7	1,53	0,85
300	11,0	1,0	0,9	0,5	30	1,8	1,62	0,9

8. Нормы расхода материалов на обслуживание элементов электрорадиопаратуры

Элемент аппаратуры	Длина, мм, не более	Расход на 100 элементов		
		припоя ПОС 40, г	канифоли, г	спирта, мл
Концы проводов	20	2,0	0,08	0,15
Лепестки латунные	15	4,0	0,16	0,30
Лепестки никелированные	15	6,0	0,24	0,45

Норму расхода припоя на лужение устанавливают расчетным методом в том случае, если площадь поверхности, подвергаемой обработке, может быть определена практически, в остальных случаях — определяется взвешиванием партии деталей до и после пайки (лужения) с учетом возможного увеличения массы деталей за счет остатков флюса.

Полученные опытным путем нормы расхода припоев после повторных проверок и корректировки принимаются в качестве расчетных норм.

Расход флюсов зависит от состояния обрабатываемой поверхности, способа флюсования (смачивание флюсом, погружение в раствор флюса и т. д.), способа пайки.

Норму расхода флюса, г, определяют по формуле

$$H_p = l_{ш. п} P'_{у. ф}, \quad (9)$$

где $l_{ш. п}$ — протяженность шва, м; $P'_{у. ф}$ — удельный расход флюса на 1 м шва с учетом потерь на унос, испарение, разбрызгивание и т. д.

Нормирование расхода припоев, содержащих драгоценные металлы, осуществляют по аналогичной методике. Норма расхода припоя на одно паяное соединение, г [3]:

$$H_p = H_{ш} + H_{г} + H_{н}, \quad (10)$$

где $H_{ш}$, $H_{г}$, $H_{н}$ — нормы расхода припоя соответственно на заполнение зазора, на формирование галтелей, на растекание и наплывы, г.

Нормы расхода серебряных припоев с учетом безвозвратных потерь приведены в табл. 9—12.

Норма расхода флюсов при лужении, г:

$$H_p = F P''_{у. ф}, \quad (11)$$

где F — площадь обрабатываемой поверхности, м²; $P''_{у. ф}$ — расход флюса на единицу поверхности детали с учетом потерь, г/м² (определяется обычно опытным путем).

9. Нормы расхода серебряных припоев на 1 см² шва, г

Ширина шва, мм	ПСр 3	ПСр 3Кд	ПСр 10	ПСр 12М	ПСр 15	ПСр 25	ПСр 40	ПСр 45	ПСр 50	ПСр 65	ПСр 70	ПСр 71	ПСр 72	ТМСр 47М	ПСрМдН 49
0,005	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,0156	0,0158
0,010	0,012	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,0313	0,031
0,030	0,035	0,027	0,027	0,026	0,025	0,027	0,026	0,028	0,028	0,029	0,030	0,030	0,030	0,094	0,095
0,050	0,058	0,044	0,043	0,043	0,042	0,044	0,042	0,046	0,047	0,049	0,050	0,050	0,050	0,157	0,158
0,080	0,092	0,071	0,069	0,069	0,068	0,071	0,069	0,074	0,076	0,078	0,080	0,080	0,081	0,251	0,253
0,100	0,115	0,089	0,086	0,087	0,085	0,089	0,086	0,093	0,095	0,098	0,100	0,100	0,101	0,310	0,316
0,150	0,173	0,133	0,129	0,130	0,127	0,133	0,128	0,139	0,142	0,147	0,150	0,150	0,151	0,470	0,474
0,200	0,231	0,177	0,172	0,173	0,169	0,177	0,171	0,186	0,190	0,196	0,200	0,199	0,202	0,627	0,632
0,250	0,288	0,222	0,215	0,217	0,212	0,222	0,214	0,232	0,237	0,245	0,250	0,250	0,252	0,783	0,790

10. Нормы расхода серебряных припоев на 1 см галтели, г

Толщина, мм, не более	ПСр 3	ПСр 3Кд	ПСр 10	ПСр 12М	ПСр 15	ПСр 25	ПСр 40	ПСр 45	ПСр 50	ПСр 65	ПСр 70	ПСр 71	ПСр 72
0,2	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
0,4	0,018	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
0,5	0,020	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,017	0,017	0,017	0,018	0,017	0,018
0,6	0,027	0,021	0,021	0,021	0,019	0,021	0,019	0,022	0,022	0,023	0,023	0,023	0,023
0,8	0,033	0,026	0,025	0,025	0,024	0,026	0,024	0,027	0,027	0,028	0,029	0,029	0,029
1,0	0,042	0,032	0,032	0,032	0,030	0,032	0,030	0,033	0,034	0,034	0,036	0,036	0,036
1,5	0,090	0,069	0,067	0,068	0,066	0,069	0,067	0,072	0,074	0,076	0,078	0,078	0,079
и более													

Примечание. Для обратной галтели норма расхода 30% от приведенной в таблице.

11. Нормы расхода серебряных припоев на 1 см наплывов, г

Ширина вазора, мм	ПСр 3	ПСр 3 Кд	ПСр 10	ПСр 12М	ПСр 15	ПСр 25	ПСр 40	ПСр 45	ПСр 50	ПСр 65	ПСр 70	ПСр 71	ПСр 72
≤0,1	0,019	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,015	0,015	0,016	0,016	0,016
0,1—0,2	0,021	0,016	0,017	0,016	0,016	0,016	0,015	0,018	0,018	0,018	0,019	0,018	0,019
0,2—0,3	0,029	0,022	0,022	0,022	0,021	0,022	0,021	0,024	0,024	0,025	0,025	0,025	0,025

Примечание. Нормативы распространяются на соединения, в которых наплыв является самостоятельным элементом шва.

12. Нормы расхода серебряных припоев на пайку проводов встык (на одно соединение), г

Диаметр провода, мм	ПСр 3Кд	ПСр 25	ПСр 40	ПСр 44	ПСр 45	ПСр 50	ПСр 65	ПСр 70	ПСр 71	ПСр 72
0,5	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
1,0	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,012	0,012	0,011	0,012
1,5	0,015	0,015	0,014	0,016	0,016	0,016	0,017	0,017	0,017	0,018
2,0	0,020	0,020	0,019	0,021	0,022	0,022	0,023	0,023	0,022	0,023
2,5	0,024	0,024	0,023	0,025	0,026	0,026	0,027	0,028	0,027	0,028
3,0	0,028	0,028	0,027	0,029	0,030	0,031	0,032	0,032	0,032	0,033

Примечание. При соединении проводов различных диаметров норму расхода определяют по большему диаметру провода.

13. Нормы расхода флюсов на 1 м шва при пайке деталей в зависимости от типа соединений, г

Толщина элемента, мм	Пайка низкотемпературными припоями						Пайка высоко- температурными припоями	
	Флюс кислотный			Флюс ЛТИ	Флюс бескислотный			
	Хлори- стый цинк	Соляная кислота	Наша- тырь		Кани- фоль	Спирт	Бура	Борная кислота

Внахлестку

0,25	0,2	0,6	0,8	0,3	0,6	1,8	0,9	0,8
0,40	0,4	1,1	1,4	0,5	1,0	3,0	1,5	1,2
0,50	0,5	1,3	1,8	0,6	1,2	3,6	2,0	1,6
0,70	0,7	2,1	2,8	1,0	1,9	5,7	3,1	2,5
1,0	1,0	3,0	4,0	1,4	2,7	8,1	4,6	3,7
1,5	1,4	4,3	5,8	2,0	3,9	11,7	6,5	5,3
2,0	1,9	6,0	8,0	2,7	5,5	16,5	9,0	7,3

Встык

0,5	0,15	0,4	0,5	0,2	0,4	1,2	0,6	0,5
0,8	0,20	0,5	0,7	0,3	0,5	1,5	0,8	0,7
1,0	0,25	0,75	1,0	0,4	0,7	2,1	1,1	0,9
1,5	0,35	1,1	1,5	0,55	1,0	3,0	1,7	1,4
2,0	0,50	1,7	2,2	0,8	1,5	4,5	2,5	2,1
2,5	0,60	2,0	2,7	0,9	1,8	5,4	3,1	2,5
3,0	0,70	2,3	3,1	1,1	2,1	6,3	3,6	2,9
4,0	1,1	3,3	4,5	1,5	3,0	9,0	4,6	3,7

Потери на унос, испарение, разбрызгивание, распыление не должны превышать 10% от расхода флюса.

Нормы расхода флюсов при пайке в зависимости от типа соединения приведены в табл. 13.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по нормированию расхода материалов в основном производстве машиностроения (типовая). М.: Экономика, 1971. 423 с.
2. Инструкция по нормированию расхода драгоценных металлов. М.: Минстанкинпром, 1980, 68 с.
3. Нормирование расхода материальных ресурсов в машиностроении. Т. 2/ Под ред. Г. М. Токарева М.: Машиностроение, 1984. 440 с.

МНОЖИТЕЛИ И ПРИСТАВКИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕСЯТИЧНЫХ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ И ИХ НАИМЕНОВАНИЕ

При- ставка	Множи- тель	Обозначение приставок		При- ставка	Множи- тель	Обозначение приставок	
		между- народное	русское			между- народное	русское
экса	10^{18}	E	Э	деци	10^{-1}	d	д
пета	10^{15}	P	П	санتي	10^{-2}	c	с
тера	10^{12}	T	Т	милли	10^{-3}	m	м
гига	10^9	G	Г	микро	10^{-6}	μ	мк
мега	10^6	M	М	нано	10^{-9}	n	н
кило	10^3	k	к	пико	10^{-12}	p	п
гекто	10^2	h	г	фемто	10^{-15}	f	ф
дека	10^1	da	да	атто	10^{-18}	a	а

ОБОЗНАЧЕНИЕ МАРОК СТАЛЕЙ

Первые две цифры в обозначении указывают среднее содержание углерода, буквами обозначают легирующие элементы: С — кремний, Г — марганец, Н — никель, М — молибден, Х — хром, К — кобальт, Т — титан, Ю — алюминий, Д — медь, В — вольфрам, Ф — ванадий, Р — бор, Б — ниобий.

Цифры после букв указывают среднее содержание легирующего элемента в %. Отсутствие цифры означает, что содержание элемента не превышает 1,5%.

ПЕРЕЧЕНЬ СТАНДАРТОВ ПО ПАЙКЕ

Общие вопросы:

ГОСТ 17349—79. Пайка. Классификация способов.

ГОСТ 17325—79. Пайка и лужение. Основные термины и определения.

ГОСТ 19249—73. Соединения паяные. Основные типы и параметры.

ГОСТ 20485—75. Пайка. Методы определения заполнения вазора припоем.

ГОСТ 20487—75. Пайка. Оценка влияния расплава припоя на паяемые материалы.

ГОСТ 21547—76. Пайка. Метод определения температуры распайки.

ГОСТ 21548—76. Пайка. Метод выявления и определения толщины прослойки химического соединения.

ГОСТ 21549—76. Пайка. Метод определения эрозии паяемого материала.

ГОСТ 23904—79. Пайка. Метод определения смачивания материалов припоями.

Правила оформления документов:

ГОСТ 3.1407—86 ЕСТД. Правила оформления документов на единичные и типовые (групповые) процессы пайки.

ГОСТ 3.1704—81 ЕСТД. Правила записи операций и переходов. Пайка и лужение.

Припой:

ГОСТ 19248—73. Припой. Классификация.

ГОСТ 859—78. Медь. Марки.

ГОСТ 1066—80. Проволока латунная. Технические условия.

ГОСТ 1429.0—77—ГОСТ 1429.15—77. Припой оловянно-свинцовые. Методы анализа. Сборник ГОСТов. М., 1977 г.

ГОСТ 19738—74. Припой серебряные. Марки.

ГОСТ 19739—74. Полосы из припоев серебряных.

ГОСТ 19746—74. Проволока из припоев серебряных.

ГОСТ 21930—76. Припой оловянно-свинцовые в чушках. Технические условия.

ГОСТ 21931—76. Припой оловянно-свинцовые в изделиях. Технические условия.

ГОСТ 23137—78. Припой медно-цинковые. Марки.

ГОСТ 16883.1—71—ГОСТ 16883.3—81. Серебряно-медно-цинковые припой. Методы анализа. Сборник ГОСТов. М., 1972 г.

ГОСТ 22864—83. Благородные металлы и их сплавы. Общие требования к методам анализа.

Флюсы:

ГОСТ 19250—73. Флюсы паяльные. Классификация.

ГОСТ 23178—78. Флюсы паяльные высокотемпературные фторборатно- и боридногалогенидные. Технические условия.

Свойства паяных соединений:

ГОСТ 9651—84. Методы испытания паяных соединений при повышенной температуре.

ГОСТ 20487—75. Пайка. Метод испытаний для оценки влияния жидкого припоя на механические свойства паяемого материала.

ГОСТ 23046—78. Соединения паяные. Метод испытаний на удар.

ГОСТ 23047—78. Соединения паяные. Метод испытания на растяжение.

ГОСТ 24167—80. Соединения паяные. Метод испытаний на изгиб.

ГОСТ 25200—82. Соединения паяные. Метод испытаний на растяжение при низких температурах.

ГОСТ 26102—84. Соединения паяные. Методы испытаний на растяжение при высоких температурах.

ГОСТ 26446—85. Соединения паяные. Методы испытаний на усталость.

ГОСТ 24715—81. Соединения паяные. Методы контроля качества.

Паяльники, горелки:

ГОСТ 7219—83. Паяльники электрические бытовые. Технические условия.

ГОСТ 1077—79. Горелки однопламенные универсальные для ацетилено-кислородной сварки, пайки и подогрева. Технические условия.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕМЕНТОВ

Элемент	γ , г/см ³	$T_{пл}$	$T_{кип}$	Элемент	γ , г/см ³	$T_{пл}$	$T_{кип}$
Ag	10,49	960,5	1950	Hf	13,3	2200	5300
Al	2,70	658,9	2500	Hg	13,55	—38,87	356,9
Ar	1,78 *1	—189,4	—185,8	In	7,31	156,4	2100
As	5,73	817 (3,6 МПа)	615 (возг.)	Ir	22,4	2440	4900
Au	19,3	1063	2966	I	4,93	113	183
B				K	0,86	63	760
крист.	3,3 }			Kr	3,74 *1	—157	—152,9
аморф.	2,3 }	2300	2550	La	6,15	826	1800
Ba	3,5	704	1540	Li	0,53	186	1336
Be	1,9	1285	2970	Mg	1,74	651	1107
Cr	7,14	1800	2200	Mn	7,4	1250	2151
Cs	1,9	28	670	Mo	10,2	2625	3700
Cu	8,9	1083,2	2595	N	1,25 *1	—210	—195,8
F	1,696 *1	—218	—188,2	Na	0,97	97,7	880
Fe	7,87	1535	3000	Nb	8,6	2500	3700
Ga	5,9	29,8	2000	Nd	7,0	840	
Ge	5,36	958	2700	Sn *2	7,30	231,9	2270
H	0,09 *1	—259,4	—252,7	Sr	2,6	770	1370
He	0,18 *1	—272,2 (2,6 МПа)	—268,9	Ta	16,6	3000	5300
				Te	6,24	450	1390
				Th	11,5	1845	5200

Продолжение

Элемент	γ , г/см ³	$T_{пл}$	$T_{кип}$	Элемент	γ , г/см ³	$T_{пл}$	$T_{кип}$
Ti	4,54	1800	5100	Pd	11,9	1554	4000
Tl	11,85	303	1457	Pr	6,6	940	
Bi	9,8	271,3	1560	Pt	21,45	1773,5	4400
Bг	3,12	—5,7	59	Ra	5,0	960	1140
C				Rb	1,53	38,5	700
Алмаз	3; 51			Re	20,9	3170	5900
аморф.	1,8—	3500	(возг.)	Rh	12,44	1966	4500
графит	2,1			Rn	9,73 * ¹	—71	—61,8
	2,25			Ru	12,2	2450	4900
Ca	1,54	850	1440	S			
Cd	8,65	320,9	767	ромб.	2,07	112,8	444,6
Ce	6,88	640	1400	монокл.	1,96	119	
Cl	3,21 * ¹	—101	—34	Sb	6,62	630,5	1635
Co	8,9	1490	2900	Sc	2,5	1200	2400
Ne	0,90 * ¹	—248,6	—245,9	Se	4,81	220	686
Ni	8,9	1455	2900	Si	2,4	1415	2287
O	1,43 * ¹	—218,8	—182,97	Sm	7,7	>1300	
Os	22,48	2700	5500	U	18,7	1133	3500
P				V	5,8	1710	3000
белый	1,82	44,2	280,5	W	19,3	3370	5900
красный	2,20	590	—	Xe	5,89 * ¹	—111,5	—108
		(4,3 МПа)		Y	5,51	1490	4600
Pb	11,34	327,4	1744	Zn	7,14	419,5	907
				Zr	6,4	1900	5050

*¹ Плотность газов, г/л.*² Точка перехода белого олова β в серое α при 13,2 °C.

Примечания: 1. Плотность при 0 °C и атмосферном давлении.

2. $T_{пл}$ и $T_{кип}$ — температуры плавления и кипения, °C, при атмосферном давлении.

3. Сокращения: возг. — возгоняется, аморф. — аморфное; крист. — кристаллическое; ромб. — ромбическое; монокл. — моноклинное.

ПЕРЕВОД ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ В ЕДИНИЦЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ (СИ)

Наименование	Обозначения единиц		Значения в единицах СИ, кратных и дольных от них
	прежние	в системе СИ	
Масса	кг	кг	1 кг
Сила	кгс	Н	1 кгс = 9,80665 Н
	дина	Н	1 дина = 10 ⁻⁵ Н
Напряжение (предел прочности, модуль продольной упругости и др.)	кгс/мм ²	Па	1 кгс/мм ² $\approx$ 9,8 · 10 ⁶ Па
Плотность	г/см ³	кг/м ³	1 г/см ³ = 10 ³ кг/м ³

Продолжение

Наименование	Обозначения единиц		Значения в единицах СИ, кратных и дольных от них
	прежние	в системе СИ	
Работа, энергия	эрг кгс·м кВт·ч	Дж Дж Дж	$1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж}$ $1 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 9,80665 \text{ Дж}$ $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$
Количество теплоты	кал	Дж	$1 \text{ кал} = 4,1868 \text{ Дж}$
Коэффициент теплопроводности	кал/(см·с·°C)	Вт/(м·°C)	$1 \text{ кал}/(\text{см} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C}) =$ $= 418,6 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$
Удельная теплоемкость	кал/(г·°C)	Дж/(кг·°C)	$1 \text{ кал}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C}) =$ $= 4186,8 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$
Ударная вязкость	кгс·м/см ²	Н/м ²	$1 \text{ кгс м}/\text{см}^2 =$ $= 98\,066,5 \text{ Н}/\text{м}^2$
Давление	кгс/см ² мм рт. ст.	Па Па	$9,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$ $133,322 \text{ Па}$
Удельное электрическое сопротивление	Ом·мм ² /м	Ом/м	$1 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м} = 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Коэффициент диффузии	см ² /с	м ² /с	$1 \text{ см}^2/\text{с} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$
Поверхностное натяжение	дин/см	Н/м	$1 \text{ дина}/\text{см} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н}/\text{м}$

А

Автомат АПК-1 — Технические данные 102
Агрегаты вакуумные — Технические данные 92, 93
— для пайки в контролируемой среде — Технические данные 94
Анализ микроструктурный 173—179
— рентгеноструктурный 179

Б

Блоки нагревательные 112

В

Вентили вакуумные 93
Вещества вредные — Характеристика 190, 191

Г

Газы активированные 82—84
— восстановительные — Химический состав и назначение 82
— горючие 106 — Свойства 106, 107
Генераторы — Колебательная мощность 98, 99
— с ламповым преобразователем — Технические данные 95
Горелки ГКР-1-67 — Технические данные 108, 109
— паяльные 106—108

Д

Диаграмма состояния — Схема 11, 12 — Типы 42

З

Зазоры, применяемые при пайке 160, 161
Затворы вакуумные 93 — Технические данные 92, 93
Зона диффузионная — Определение 9 — Состав в зависимости от температуры пайки 29, 30
— прикристаллизованная 9, 10

И

Изделия криогенной техники 127
— Определение 157
— паяные — Конструктивные решения, применяемые при разработке 160, 162, 163 — Способы контроля качества 180

К

Капиллярности законы 22
Клещи ручные паяльные 101

Контейнеры жесткие для пайки изделий — Конструкция — 87

Контроль качества паяных соединений
— акустический 181
— галогенный 185, 186 — Технические характеристики галогенных теческателей 186
— капиллярный 184
— ксерорадиографический 181
— люминесцентный 185
— магнитный 183, 184
— манометрический 185
— масс-спектрометрический 185
— радиационный 181—183
— радиографический — Разрешающая способность 181, 182
— радиометрический — Разрешающая способность 181, 183
— радиоскопический — Область применения 183
— разрушающий 187
— Способы 180
— химический 185

Контроль качества подготовки поверхности 116

Коррозия интеркристаллитная 126
— щелевая 126

Краевой угол смачивания 17

Л

Лужение абразивное и ультразвуковое — Оборудование 112

М

Маты электронагревательные 112
Машины для пайки электросопротивлением 101, 102
— однофазные точечные переменного тока — Технические данные 101, 102
Меднение контактное 131
Медь — Химический состав 46, 47
Металлы — Атомные радиусы 37
— жидкие — Поверхностное натяжение 23, 24
— Энергия кристаллических решеток 38, 39
Микротвердости метод 179, 180
Микрошлифпорошки 174

Н

Напыление термовакuumное 137
Насосы вакуумные 89 — Технические данные 91, 92
Нормирование паяльных работ 194—203

О

Обезжиривание поверхности паяемого материала 114

— комбинированное 116 — Составы ванн для обработки стали и чугуна 116, 121 — Составы эмульсий 115, 117 — ультразвуковое 116 — Составы моющих сред 116, 117 — химическое — Состав ванны 114, 115

— электрохимическое — Составы электролитов 116, 117

Осмотр технический 180

Очистка поверхности металлов под пайку механическая 114

— термическая 114

— химическая 114

Очки противолазерные — Марки стекол 192

П

Пайка — активная 149

— алюминия и его сплавов 137—140 — бронз 134

— вольфрама серебром — Распределение содержания серебра по сечению шва 15, 16

— в солевых ваннах 139

— германия и кремния — Припой, режимы и составы электролитов 144, 145

— графита, керамики и полупроводников — Подготовка 122, 123

— графита с медью — Составы припоев, режимы 154, 156

— жаропрочных сталей и сплавов 128, 129

— железа никелем в среде водорода — Микроструктура шва 12, 13

— инструментальных сталей 129

— коррозионно-стойких сталей 125—127

— латуней 133—134

— магниевых сплавов 140—142

— медных деталей 132, 133

— металлов с графитом 152—156

— металлов с керамикой 146—149

— металлов со стеклом, кварцем 150, 151

— металлов с ферритами, ситаллами, сапфиром 151, 152

— молибдена 135

— низкоуглеродистых и низколегированных сталей 124, 125

— никеля и его сплавов 134, 135

— ниобия и его сплавов 135, 136

— Определение 7

— погружением — Составы смеси солей 100

— полупроводников 143—146

— ситалла и ферритов с металлами — Припой, режимы 152

— спеченных твердых сплавов 129—131

— ТВЧ — Схемы 96, 97

— титана и его сплавов 136—137

— флюсовая пластинчато-ребристых теплообменников 140

— цветных металлов и сплавов 132—137

— чугуна 131, 132

Пары горючие 106 — Свойства 106, 107

Пасты паяльные — Состав, назначение, характеристика 80, 81

Пасты, применяемые для металлизации керамических материалов

— Состав 147

Паяльники электрические 110, 111 — Технические данные 111

Печи для пайки специализированные 94, 95 — Технические данные 94

— циркуляционные аэродинамического подогрева — Технические данные 101

— элеваторные — Технические характеристики 94

Печи-ванны для высокотемпературной пайки — Технические данные 100

Подготовка поверхности изделий к пайке — Контроль качества 116, 117

— Обеспечение сохранности поверхности 116

— Окисление поверхности 121, 122

— Подготовка графита, керамики и полупроводников 122, 123

— Подготовка стекла 122

Полуавтоматы для пайки — Технические характеристики 96

Полупроводники — Составы припоев, режимы пайки 145, 146

Припой алюминиевые — Химический состав и температура плавления 59, 60

— висмутовые 66

— Влияние состава на свойства паяных соединений 32—34

— галлиевые — Химический состав и температура плавления 67, 68

— золотые многокомпонентные — Химический состав и температура плавления 57, 58

— золотые с медью — Химический состав и температура плавления 56, 58

— золотые с палладием и индием 56, 58
 — индиевые многокомпонентные — Химический состав и температура плавления 65
 — кадмиевые — Химический состав и температура плавления 66, 67
 — Капиллярное течение 25—29
 — композиционные 69, 70
 — магниевые 60, 61
 — медно-никелевые 47—49 — Диаграмма состояния сплавов системы медь—никель 47 — Механические свойства паяных соединений 49, 50 — Химический состав и температура плавления 49
 — медно-фосфорные 49—52 — Прочность паяных соединений 51; 52 — Химический состав и температура плавления 49, 51, 52
 — медно-цинковые 46, 47 — Физико-механические свойства 46, 48 — Химический состав и температура плавления 46, 48
 — на основе железа (железные) — Химический состав и температура плавления 59, 60
 — на основе марганца (марганцевые) 58, 59
 — никелевые 58 — Химический состав и температура плавления 58, 59
 — Нормы расхода 196—198
 — оловянно-свинцовые — Диаграмма состояния сплавов системы олово—свинец 61 — Начало растекания по меди 23 — Химический состав, температура плавления и область применения 61—63
 — оловянные с цинком, серебром, сурьмой, медью и кадмием — Химический состав и температура плавления 63, 64
 — палладиевые многокомпонентные — Химический состав и температура плавления 55
 — платиновые — Химический состав и температура плавления 57, 58
 — свинцовые 64, 65 — Диаграмма состояния сплавов системы свинец—серебро 61, 64 — Химический состав и температура плавления 64, 65
 — серебряные — Диаграмма состояния сплавов медь—серебро 54, 55 — Нормы расхода 200—202 — Физические свойства 53, 54 — Химический состав и температура плавления 53, 54

— Составы и температуры плавления 25
 — титановые — Химический состав и температура плавления 68, 69
 — цинковые — Химический состав и температура плавления 66
 Приборы для измерения и контроля вакуума 93, 94
 Прочность паяных соединений 51, 52, 169—172 — Зависимость: от величины зазора 167, от времени выдержки 168, от дефектности шва 170, 171, 172, при разных температурах испытания 169, 170, 171, от состава основного металла 169, от температуры испытания 168, от температуры пайки 168

Р

Работы паяльные — Характеристика по опасным и вредным производственным факторам 189, 190
 Растворимость кислорода в металлах 19
 — оксидов в тетраборнокислом натрии 17, 18
 — предельная в металлах, входящих в состав припоев 20, 21
 Решетки солей, входящих в состав флюсов — Типы 16, 17

С

Самофлюсование 16—20
 Смачивание и растекание припоев 20—25
 — Коэффициент растекания 23
 — Поверхностное натяжение жидких металлов 24
 — Силы поверхностного натяжения капли жидкости (схема) 22
 — Угол смачивания 25
 Смоли эпоксидные — Условия отверждения 173, 174
 Совместимость физико-химическая материалов с основой припоев 42—44
 Соединения паяные бор- и фосфоргаллоидные — Физические свойства 83
 — Влияние различных факторов на прочность см. Прочность паяных соединений
 — графита с металлами — Припой, режимы пайки, свойства 153, 156
 — Основные типы 164
 — Составы реактивов и способы химического травления 175—178
 — Строение (схема) 9, 10

- стыковые — Типы 160
- Формирование галтелей 32
- Спай бездиффузионный 9—11
- диспергированный 15, 16
- контактно-реакционный 9, 14, 15 —
- Расчет (схема) 14, 15
- Определение 9
- растворно-диффузионный 11—14 —
- Расчет (схема) 14
- Сталь — Обозначение марок 204
- Стандарты по пайке — Перечень 204—206
- Стеклоприпой — Состав и температура пайки 148, 149
- Структура элементов кристаллическая 38, 39

Т

- Течискатели галогениды — Технические характеристики 185, 186
- Травление комбинированное (с обезжириванием) 116 — Составы ванн для обработки стали и чугуна 121
- с применением ультразвука 116
- химическое 116 — Составы ванн 116, 118, 119
- электрохимическое 116 — Составы электролитов 116, 120, 121

У

- Угар и безвозвратные потери припоя в зависимости от способа пайки 194, 195
- Установки для пайки газопламенной механизированные 109, 110
- индукционные специализированные 97, 98 — Выбор параметров 98, 99
- лазерные 105 — Технические данные 106
- погружением в расплавленный припой 99
- погружением в расплавы солей 99—101 — Составы смеси солей 100
- световым лучом 105
- с инфракрасным излучением 103, 104 — Технические характеристики 104
- с машинными преобразователями частоты 97 — Технические характеристики 97
- электронно-лучевые 104, 105 —
- Технические характеристики 104, 105
- электросопротивлением специальные 102, 103 — Технические характеристики 102, 103

- Устройства для пайки с использованием жидкого горючего 108—109
- электрической дугой 105, 106

Ф

- Фаза — Определение 9
- Флюсование 16—20
- Флюсопитатель — Технические характеристики 108
- Флюсы галогенидные 71 — Состав и характеристика 71, 76
- для высокотемпературной пайки 71 — Состав и характеристика 74—76
- для низкотемпературной пайки 71 — Состав и назначение 77—79
- для пайки черных и цветных металлов 71, 72—74
- на органической основе 70
- Нормы расхода 200, 203
- Формула Журавского 165
- Лапласа 20

Ш

- Шашки термитные 112
- Шов паяный — Определение 9

Э

- Электропечи вакуумные 88, 89 — Материалы нагревательных элементов 89, 91
- копкаковые — Технические данные 89
- Средства откачки 89—93
- шахтные — Технические данные 89, 90
- элеваторные — Технические данные 89, 90
- Электропечи с контролируемыми газовыми средами 85—88
- камерные — Технические данные 88
- копкаковые — Технические данные 85
- шахтные — Технические данные 86
- элеваторные — Технические данные 86
- Электропаяльники ультразвуковые — Технические данные 112
- Электрорадиоаппаратура — Нормы расхода материалов на обслуживание элементов 199, 200
- Энергия выхода электрона 37, 38